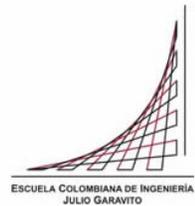


Maestría en Ingeniería Civil

**Planteamiento de un esquema metodológico para la evaluación
de sectores ribereños con riesgo de inundación**

Ing. Carlos Alejandro Díaz Ballesteros

Bogotá, D.C., 5 de mayo de 2016



**Planteamiento de un esquema metodológico para la evaluación
de sectores ribereños con riesgo de inundación**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Recursos hidráulicos y medio ambiente**

Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Director

Bogotá, D.C., 5 de mayo de 2016



La tesis de maestría titulada “Planteamiento de un esquema metodológico para la evaluación de sectores ribereños con riesgo de inundación”, presentada por Carlos Alejandro Díaz Ballesteros, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos hidráulicos y medio ambiente.

Director de la tesis

Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Jurado

Ing. Héctor Matamoros Rodríguez

Jurado

Ing. Germán Ricardo Santos Granados

Bogotá, D.C., 5 de mayo de 2016

A mis padres Carlos y Ruth por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, gracias por su apoyo incondicional.

A mis abuelos Desiderio y Leticia por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A mis tíos, especialmente a Humberto y Fernando, gracias por todo su apoyo.

A Alejandra y Verónica, no hay palabras para agradecer su paciencia y comprensión, gracias por estar siempre para mí, ustedes son el motor de mis logros.

A Alberto Polo, quien me ha acompañado y compartido sus conocimientos en cada etapa de este camino.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Al Ingeniero Héctor Alfonso Rodríguez, quien con su conocimiento y paciencia me guió y apoyó en este proyecto.

Resumen

En este documento se presenta la formulación de una metodología integral que permite la evaluación de eventos de inundación en sectores ribereños, sus correspondientes afectaciones y las alternativas de solución.

La metodología brinda a las diferentes entidades una herramienta de planeación con vocación claramente preventiva y no curativa, que mediante la vinculación al estudio de un grupo de trabajo multidisciplinar permite realizar el análisis, la valoración y la toma de decisiones en aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos y demás temas relevantes de los procesos de planeación involucrados con la evaluación de afectaciones generadas por eventos de inundación.

El planteamiento metodológico aborda tres fases estructuradas, pensando en la prevención, para que al finalizar cada una de ellas se obtengan conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones en los procesos de planeación.

Índice general

Introducción	12
Capítulo 1. Objetivos	14
1.1. Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos	14
Capítulo 2. Planteamiento conceptual	15
Capítulo 3. Planteamiento del esquema metodológico. Consideraciones	20
3.1. Equipo técnico	21
3.2. Estructura general del esquema metodológico	23
Capítulo 4. Fase I. Observación	25
4.1. Levantamiento y clasificación de información preliminar	26
4.1.1. Aspectos técnicos	26
4.1.1.1. Aspectos topográficos y de fotointerpretación	26
4.1.1.2. Aspectos hidrológicos	27
4.1.1.3. Aspectos hidráulicos	28
4.1.1.4. Aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos	29
4.1.2. Aspectos sociales	29
4.1.3. Aspectos ambientales	31
4.1.4. Aspectos económicos	33
4.2. Visita y trabajo de reconocimiento	33
4.3. Definición del área de influencia	34
4.4. Diagnostico preliminar, conclusiones y recomendaciones	35
Capítulo 5. Fase II. Levantamiento, procesamiento y análisis de información	37
5.1. Levantamientos topográficos y batimétricos	39
5.1.1. Captura de datos para el modelo digital del terreno	39
5.1.2. Inventario y catastro de estructuras hidráulicas	42
5.2. Características bióticas, abióticas y antrópicas del área de estudio	43
5.2.1. Características bióticas	43
5.2.2. Características abióticas	44
5.2.2.1. Clima	45
5.2.2.2. Usos de agua	45
5.2.2.3. Usos actual y potencial del suelos	46
5.2.2.4. Paisaje	46

5.2.3. Características socioeconómicas	47
5.3. Obtención y análisis de información hidrometeorológica	49
5.3.1. Identificación de las características físicas de la cuenca	49
5.3.2. Estaciones hidrométricas y climatológicas de la zona de influencia y sus alrededores, y caracterización de las variables climatológicas, información disponible, series históricas	51
5.3.3. Estimación de caudales medios, mínimos y máximos	51
5.4. Estudio hidráulico	53
5.5. Escenarios de excedencias y afectaciones	56
5.5.1 Zonas urbanas	57
5.5.2 Zonas rurales	59
5.5.3 Zonas especiales	62
5.6. Interpretación, discusión y análisis de resultados	62
Capítulo 6. Fase III. Planteamiento de alternativas de solución	64
Conclusiones	67
Recomendaciones	72
Bibliografía	73

Índice de tablas

Tabla 1. Métodos de captura de datos para construcción de un modelo digital del terreno	40
Tabla 2. Afectación en zonas urbanas	57
Tabla 3. Afectación en zonas rurales	59
Tabla 4. Afectación en zonas especiales	62

Índice de figuras

Figura 1. Aspectos generales del esquema metodológico.	20
Figura 2. Aspectos generales del esquema metodológico	23
Figura 3. Fase I – Observación – Trabajos de campo.	25
Figura 4. Esquema de definición del área de influencia	34
Figura 5. Fase II Levantamiento, procesamiento y análisis de información	38
Figura 6. Modelo digital del terreno	42
Figura 7. Recopilación y análisis de información – Estudio Hidrológico	50
Figura 8. Vista planimétrica de delimitación de una llanura de inundación	54
Figura 9. Relaciones hidráulicas en la sección de control para Y_n	55
Figura 10. Relaciones hidráulicas en la sección de control para Y_c	56
Figura 11. Fase III Planteamiento de alternativas de solución	66

Índice de anexos

Anexo 1. Diagramas generales de las fases propuestas

75

Introducción

Las cuencas y los ríos son sistemas en continuo cambio, que contribuyen permanentemente en los procesos de transformación de la superficie mediante el transporte de caudales líquidos y sólidos, los cuales presentan alta variabilidad en función de factores como la propia morfología del cauce, el clima, el tipo de suelo y la vegetación.

Para transportar la esorrentía de los eventos extremos de precipitación, los ríos generalmente desarrollan llanuras de inundación sujetas a inundaciones periódicas, que por su topografía plana y su cercanía a los cauces son atractivas para el desarrollo de asentamientos humanos.

El desconocimiento de los procesos dinámicos de los ríos por parte de las administraciones gubernamentales en la planeación se traduce en la falta de adecuación hidráulica para soportar eventos extraordinarios, como los que ocurrieron entre los años 2010 y 2011 por el fenómeno de La Niña, que aunados a la falta del manejo ambiental de las autoridades en la ronda de los cauces evidenciaron la alta vulnerabilidad al riesgo de inundación de las comunidades asentadas en los predios ribereños, así como las consecuentes pérdidas ambientales y económicas.

Debido a la incidencia del fenómeno de La Niña sobre la precipitación, los meses de julio y noviembre de 2010 fueron los más lluviosos de los últimos 40 años, presentando un gran aumento, especialmente en las regiones caribe, andina y pacífica. Dicho fenómeno afectó directamente los niveles de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú y Atrato, cuyos máximos históricos fueron superados en ese periodo, según los registros del Ideam. (Ideam, 2011).

De manera simultánea, el cambio en las condiciones de las cuencas, el crecimiento de las áreas urbanas y agrícolas, la disminución de la capacidad de transporte de los cauces, debido al incremento del aporte de sedimentos ocasionado por la deforestación de la parte alta de las cuencas, y la invasión de los valles aluviales por factores antrópicos, que finalmente originan la construcción de obras civiles para modificar la sección natural del flujo, han aumentado considerablemente la vulnerabilidad a las inundaciones.

La información disponible para el año 2010 en Colombia de los efectos causados por el invierno muestra que estos eventos dejaron como consecuencia 284 muertos, 267 heridos, 62 desaparecidos, 2.155.386 personas afectadas, más de 380.000 hectáreas inundadas, 3.173 viviendas destruidas, 310.351 viviendas averiadas y la pérdida potencial de un sin número de empleos (Rodríguez, 2005). Esto evidencia que las zonas de desarrollo, especialmente de asentamientos humanos, no han contado con planeación suficiente y, por tanto, no existe la infraestructura básica que permita mitigar o prevenir el riesgo de inundación, razón por la cual durante la ocurrencia de los últimos eventos extremos se han generado grandes pérdidas económicas y sociales, por lo cual se hace necesario establecer planes integrales tendientes a mitigar este riesgo, que deben considerar aspectos sociales, económicos, técnicos y ambientales, brindando a las diferentes entidades nacionales una herramienta de planeación con vocación claramente preventiva y no curativa.

Capítulo I

Objetivos

1.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es plantear una herramienta de planeación mediante el desarrollo de una propuesta metodológica integral que permita identificar los principales sectores ribereños en riesgo por inundación, evaluar aspectos técnicos y establecer las obras hidráulicas fundamentales para su manejo, de acuerdo con las condiciones existentes.

1.2. Objetivos específicos

- Definir los diferentes aspectos que se deben considerar en un plan integral para la mitigación del riesgo por inundación en la ribera de los ríos, teniendo en cuenta (como mínimo) aspectos sociales, económicos, técnicos y ambientales.
- Plantear un esquema metodológico integral para identificar los sectores ribereños vulnerables ante la ocurrencia de eventos extraordinarios, estableciendo sus causas y efectos.
- Proponer, de manera general, la metodología para el análisis de posibles soluciones de manejo y control para mitigar la vulnerabilidad al riesgo por inundaciones en las riberas de un río.

Capítulo II

Planteamiento Conceptual

Para definir la línea base sobre la cual se debe desarrollar el esquema metodológico es necesario identificar los aspectos fundamentales, tomando como referencia un evento hidrológico extraordinario que define áreas inundables, zonas de erosión, movimiento de orillas, desplazamiento de asentamientos humanos e impactos sociales, económicos y ambientales.

a) Lugar de ocurrencia

Generalmente, el área de estudio se ubica en las zonas medias y bajas de los ríos, en las planicies de inundación del cauce, donde el uso del suelo ha sido modificado por el desarrollo humano, reduciendo o eliminando las zonas de amortiguamiento natural.

El desarrollo urbano, rural o una combinación de éstos implica características bien diferenciadas en las condiciones sociales, culturales, económicas, ambientales y de la infraestructura existente. Condiciones que se deben identificar claramente para evaluar el impacto potencial de un evento de inundación.

- Condiciones sociales y culturales:
 - Existencia de organizaciones sociales y gubernamentales.
 - Características culturales.
 - Vulnerabilidad de los asentamientos humanos.
 - Acceso a la educación.

- Condiciones económicas:
 - Principales fuentes de ingreso.
 - Uso y valor del suelo.

- Condiciones ambientales:
 - Ecosistemas naturales existentes.
 - Elementos del paisaje.
 - Servicios ambientales.

- Condiciones de la infraestructura existente:
 - Prestación de servicios públicos.
 - Identificación de medios de transporte y sus estructuras conexas.
 - Existencia de infraestructura especial (petrolera, minera, tecnología, energía, etc.).

Así mismo, la identificación del lugar de ocurrencia de los eventos de inundación permitirá identificar aspectos técnicos como los siguientes:

- Características de las corrientes superficiales.
- Características y estado actual de la cuenca.
- Información hidroclimatológica de la zona.
- Geomorfología existente.
- Características ambientales de la zona.
- Existencia de cartografía, sistemas de información geográfica, aerofotografías y bases de datos.

b) Causas

Las inundaciones son procesos naturales en las planicies de grandes ríos. Su conversión en catástrofes resulta sobre todo de la acción humana, por una parte, debido al descontrol de las aguas producido por la deforestación y manejo inadecuado de cuencas y planos de inundación y, por otra, a causa de desequilibrios sociales y económicos, que obligan a la población deprimida a ocupar zonas de riesgo. (Periódico Universidad Nacional de Colombia, febrero de 2009, N.º 119, p. 2)

Es importante identificar si la ocurrencia de las inundaciones es atribuible a un evento extraordinario propiamente dicho o, por el contrario, a causas antrópicas.

Entre los eventos extraordinarios se encuentran los siguientes:

- Precipitaciones intensas que generan crecientes repentinas y de corta duración.

- Exceso de lluvias, de tal cuantía que el canal del río no pueda contener el caudal de creciente, causando inundaciones lentas y de gran duración (Monsalve, 2009).
- Avalanchas en los cauces de los ríos por causa de sismos, erupciones volcánicas o por deslizamiento de taludes inestables.

Algunas causas antrópicas que generan inundaciones son:

- Deterioro de las cuencas por deforestación, lo cual acelera los procesos erosivos aumentando la carga de sedimentos de los cauces y, por tanto, elevando el nivel de la lámina de agua.
- Invasión de las riberas del río, ya sea por asentamientos humanos o por la ejecución de actividades agrícolas, a sabiendas de que corresponden a zonas inundables.
- Desecación de zonas de amortiguación de crecientes naturales como ciénagas, lagunas y humedales para el desarrollo de actividades humanas, razón por la cual los cauces tienden a ocupar zonas no inundables.
- Ejecución inadecuada de obras de ingeniería que generalmente corresponden a obras temporales que no atacan la causa real de la inundación, simplemente la retrasan, la agravan o la cambian de ubicación.

En la práctica, la ocurrencia de las inundaciones no es atribuible a una sola causa, sino que se generan por la combinación de diferentes variables que establecen una relación causa-efecto.

Para identificar las causas reales de la inundación es necesario analizar y establecer la relación que existe entre ellas, estableciendo cómo diversos factores contribuyen en su ocurrencia. De esta manera es posible plantear una solución integral, garantizando su permanencia, efectividad y sostenibilidad social, económica, política y ambiental.

c) Efectos que se generan

De todos los fenómenos naturales las inundaciones son, quizás, el tipo de desastre más frecuente y uno de los más destructores (Comisión Nacional del Agua, 2011), generando efectos como los que se relacionan a continuación:

- Destrucción de la propiedad privada y pública.
- Destrucción de la infraestructura de servicios básicos.
- Destrucción de vías de comunicación.
- Desabastecimiento de agua potable y alcantarillado.
- Presencia de epidemias y enfermedades.
- Presencia de accidentes y pérdida de vidas humanas.
- Costo de sustituir o reparar las propiedades dañadas.
- Costo de la evacuación, auxilio y rehabilitación.
- Pérdidas económicas por interrupción de la industria y el comercio.
- Pérdidas económicas en el sector privado y gubernamental.
- Destrucción de terrenos agrícolas

La magnitud de estos efectos está profundamente ligada al lugar de ocurrencia de las inundaciones, así como a sus causas, razón por la cual se debe analizar la relación causa-efecto, facilitando el planteamiento de soluciones.

En el proceso de caracterización de las zonas de ocurrencia de inundaciones es necesario evaluar la amenaza y vulnerabilidad ante dichos eventos, para tener los elementos necesarios y estimar el riesgo, entendido como el conjunto de daños y pérdidas sociales, económicas y ambientales que pueden presentarse dentro de un territorio en un periodo de tiempo determinado (Banco Mundial, Ministerio del Interior y de Justicia, Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres, 2009).

En desarrollo de la presente metodología se identificarán factores de estimación del riesgo, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Estimación de pérdidas de vidas humanas.
- Estimación de personas u hogares damnificados.
- Pérdida de viviendas y bienes.
- Interrupción de actividades económicas y su costo.
- Interrupción en la prestación de servicios.
- Afectaciones ambientales.

De esta manera se podrán establecer los factores que son preponderantes en la afectación de la calidad de vida y los sectores de la zona de estudio que generan las mayores o más importantes afectaciones.

Capítulo III

Planteamiento del esquema metodológico. Consideraciones

En el esquema metodológico propuesto es necesario estructurar los aspectos generales, de tal manera que sea posible considerar y analizar aspectos que ayuden a entender y definir los objetivos del estudio, para posteriormente establecer el alcance y las implicaciones de las soluciones que se propongan para dar solución al riesgo de inundación, como se presenta en la Figura 1.

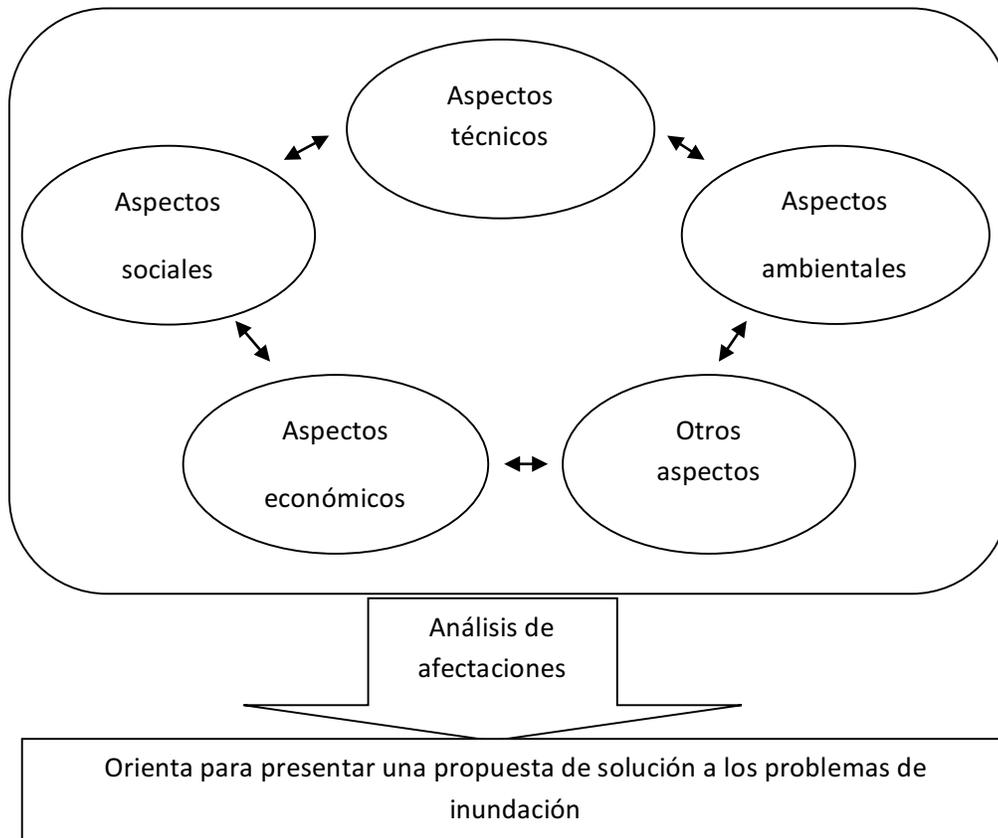


Figura 1. Aspectos generales del esquema metodológico.

3.1. Equipo técnico

Para la ejecución y puesta en marcha del esquema metodológico propuesto se requiere un equipo interdisciplinario que estudie los aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos y demás temas relevantes involucrados en los eventos de inundación; además, que analice sus efectos y plantee soluciones. El equipo profesional básico propuesto para la ejecución de la metodología es el siguiente:

- **Director de proyecto:** ingeniero civil o ambiental, con maestría en hidráulica, hidrología, recursos hidráulicos o áreas afines, con experiencia específica como director de consultoría en proyectos de adecuación hidráulica.
- **Especialista hidráulico:** ingeniero civil o ambiental, con maestría en hidráulica, recursos hidráulicos o áreas afines, con experiencia específica como especialista en proyectos de adecuación hidráulica.
- **Especialista en hidrología:** ingeniero civil o ambiental, con maestría en hidrología o recursos hidráulicos, con experiencia específica en proyectos donde se hayan realizado análisis hidrológicos asociados a herramientas informáticas de sistemas de información geográfica.
- **Geólogo:** geólogo o ingeniero civil, con maestría o especialización en geología, con experiencia específica en proyectos donde se hayan realizado actividades relacionadas con caracterización geológica, asociadas a proyectos de adecuación hidráulica de cauces.
- **Especialista en geotecnia:** ingeniero civil o geólogo, con maestría o especialización en el área de geotecnia, con experiencia específica como especialista en geotecnia, participando en proyectos de diseño de adecuaciones hidráulicas.

- **Especialista ambiental:** ingeniero ambiental o civil, con maestría o especialización en temas ambientales, con experiencia específica como especialista ambiental participando en proyectos de diseño de adecuaciones hidráulicas.
- **Trabajador social:** trabajador social, sociólogo o antropólogo, con experiencia específica como trabajador social participando en proyectos de diseño o construcción de obras de adecuación hidráulica de cauces o embalses.
- **Ingeniero catastral:** ingeniero catastral, geógrafo o topográfico, con experiencia específica en proyectos en los que se hayan realizado estudios de títulos y manejo de herramientas informáticas de sistemas de información geográfica.
- **Biólogo:** con experiencia específica en proyectos de caracterización físico-biótica de ecosistemas.
- **Especialista en análisis de vulnerabilidad y riesgo:** profesional en economía, administración de empresas, ingeniería civil, ambiental o sanitaria, con experiencia específica en estudios, evaluación y análisis de la gestión de la vulnerabilidad y el riesgo en obras de ingeniería.
- **Abogado:** profesional en derecho, con experiencia específica en procesos de manejo y administración de los recursos naturales y del medio ambiente, formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo ambiental.

3.2. Estructura general del esquema metodológico

El esquema metodológico general para definir sectores ribereños en riesgo de inundación y las principales obras hidráulicas necesarias para su mitigación se abordará en tres fases, como se observa en la Figura 2. Este esquema está estructurado pensando en la prevención, para que al finalizar cada fase se obtengan conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones en los procesos de planeación.

En la estructura general del esquema metodológico se debe tener presente que toda la información debe estar organizada para crear un sistema de información geográfica (SIG).

Las fases que se describen consisten en un proceso que se debe desarrollar de manera sistemática, donde cada paso tiene uno o varios productos que alimentan a los siguientes.

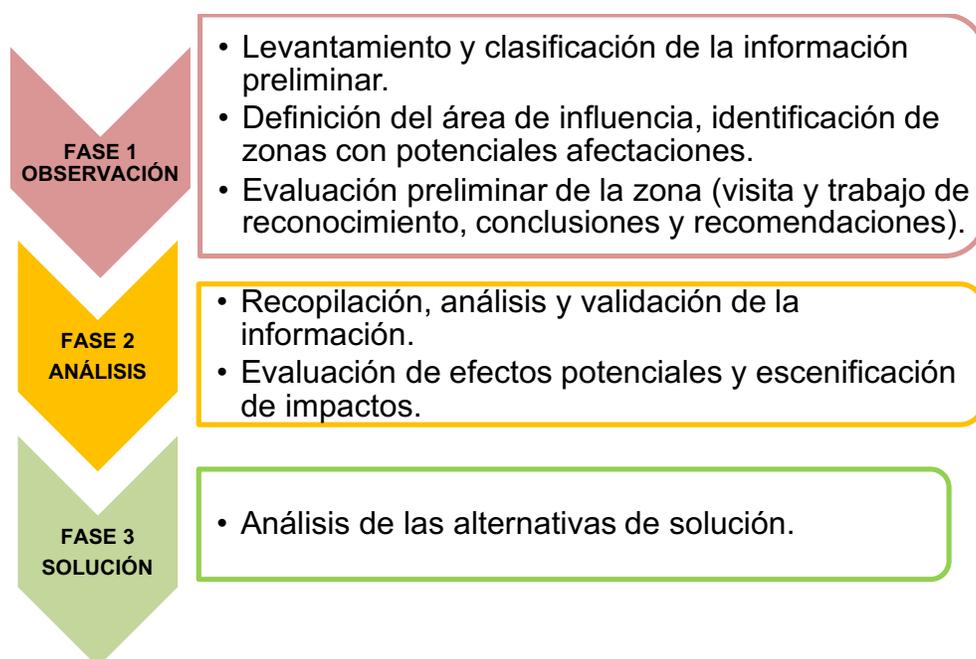


Figura 2. Aspectos generales del esquema metodológico

Infortunadamente, los entes gubernamentales continúan aplicando medidas reactivas ante las emergencias invernales de los últimos años. Por tal motivo, las fases del esquema metodológico se proponen como herramientas de planeación y gestión desde el punto de vista predictivo y no reactivo.

Las fases planteadas en la Figura 2 Esquema metodológico se presentan y describen en los siguientes capítulos.

Capítulo IV

Fase I. Observación

Las entidades locales, con el acompañamiento y por solicitud de la comunidad, deben ser las encargadas de dar inicio a un proceso serio de planeación, comenzando en su primera fase con la observación.

El procedimiento propuesto para el desarrollo de actividades de la Fase I se presenta en la Figura 3 Fase I – Observación – Trabajos de campo.

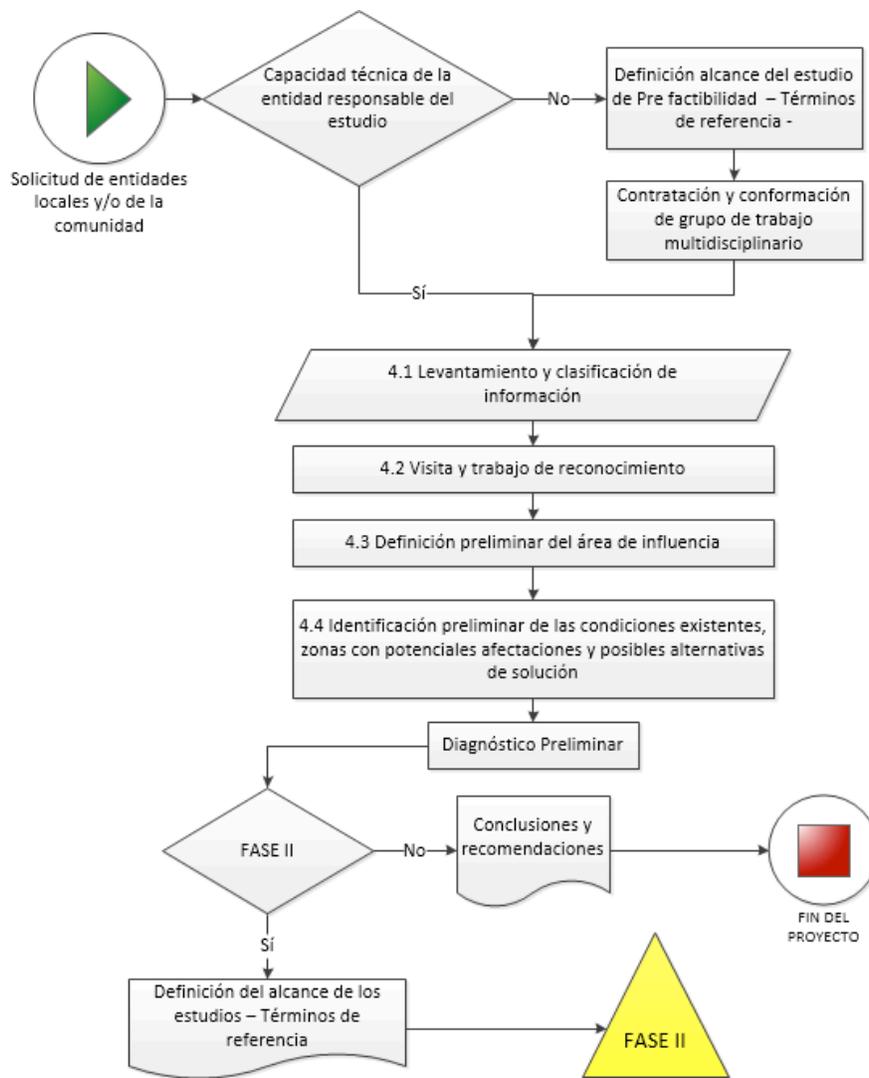


Figura 3. Fase I – Observación – Trabajos de campo.

Esta fase incluye la definición del alcance de los estudios a nivel de prefactibilidad con base en la conformación del grupo de trabajo multidisciplinario básico, el levantamiento de información preliminar, la definición del área de influencia, la evaluación preliminar de la zona (visita y trabajo de reconocimiento) y la identificación de zonas con potenciales afectaciones, con el fin de realizar un diagnóstico preliminar del área de estudio que defina la necesidad de proceder con el desarrollo de la segunda fase o no.

4.1. Levantamiento y clasificación de información preliminar

En desarrollo de la Fase I se recomienda investigar y clasificar la información preliminar disponible, que contribuya con el equipo de trabajo en la planeación y ejecución de la definición del área de influencia y en la evaluación preliminar de la zona.

A continuación se presentan los puntos de referencia que el equipo técnico debe considerar en el levantamiento y la clasificación de la información preliminar.

4.1.1. Aspectos técnicos

4.1.1.1 Aspectos topográficos y de fotointerpretación

Para definir adecuadamente las zonas vulnerables y reducir los riesgos asociados con posteriores diseños se deberá contar con información topográfica suficiente para describir parámetros como forma, elevación y ubicación relativa a lo largo del cauce analizado.

Para esto es necesario establecer, previo a la ejecución de las actividades de campo, la existencia de la siguiente información:

- Cartografía, ortofotos digitales y modelos digitales de elevación existentes.

- Levantamientos topobatimétricos.
- Identificación y descripción geométrica de las estructuras hidráulicas, tales como puentes, alcantarillas, vertederos, obras de protección, etc.
- Georeferenciación de las vías de comunicación como caminos, vías férreas y estructuras de cruce.

En caso de que no se cuente con dicha información y el equipo de trabajo requiera realizar verificaciones durante el reconocimiento de campo, mediante levantamientos topográficos de precisión, se deberá definir el alcance de los trabajos de topografía, su extensión y los siguientes parámetros mínimos:

- Sistema de coordenadas geográficas.
- Definición del nivel de detalle y precisión de los levantamientos planimétricos y altimétricos. Equipos de medición que se deben utilizar.
- Procedimiento para la generación de un modelo digital del terreno.

Esta información debe estar disponible para implementar un sistema de información geográfica, SIG, que permita realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación.

4.1.1.2 Aspectos hidrológicos

Previo al reconocimiento preliminar de las zonas vulnerables es recomendable contar con una definición de las características hidroclimatológicas del sector objeto de evaluación. Por esta razón se debe verificar la existencia de estudios hidrológicos previos o de la siguiente información:

- Delimitación de cuencas y subcuencas, con sus correspondientes análisis de datos fisiográficos: área, tipo de terreno y cobertura vegetal de la cuenca, pendiente y longitud del cauce principal, entre otros.

- Identificación de estaciones hidrométricas y climatológicas en la zona de influencia y sus alrededores, y sus registros históricos.
- Caracterización de las variables hidroclimatológicas.
- Estudio de variables hidrológicas (caudales medios, máximos y mínimos, y lluvias intensas).
- Aforos.
- Cotas de inundación.

La información recopilada debe estar disponible para implementar un sistema de información geográfica y poder realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación para posibles etapas posteriores.

4.1.1.3 Aspectos hidráulicos

En la planeación de la visita de campo y en la evaluación preliminar objeto de la Fase I se debe considerar la consecución de estudios previos o información existente referente a los siguientes aspectos:

- Origen de la inundación.
- Identificación de sectores críticos.
- Información histórica de los habitantes sobre niveles máximos.
- Marcas del río al paso de eventos extremos.
- Geomorfología del río.
- Coeficientes de contracción y expansión del cauce o canal.
- Coeficientes de rugosidad de Manning para las diferentes secciones, considerando el cauce principal y las llanuras de inundación.
- Secciones dominantes.
- Modelación de eventos extremos.
- Curvas de capacidad hidráulica (flujo crítico y flujo uniforme).

En caso de no contar con dicha información preliminar, el equipo de trabajo debe considerar la identificación de dichos aspectos durante la visita de campo, la cual debe estar disponible para implementar un sistema de información geográfica que permita realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación en posibles etapas posteriores.

4.1.1.4 Aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos

Previo al reconocimiento preliminar de las zonas vulnerables que se debe realizar en desarrollo de la Fase I es recomendable contar con una caracterización de los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos del sector objeto de evaluación. Para esto se debe verificar la existencia de estudios previos o de la siguiente información:

- Geología regional.
- Morfología del área de influencia.
- Exploraciones y estudios geológicos y geotécnicos superficiales y del subsuelo, así como ensayos de campo y de laboratorio.
- Caracterizaciones geotécnicas detalladas del sector.
- Ortofotografías o imágenes satelitales que permitan un análisis multitemporal del comportamiento dinámico (aspectos morfológicos, dinámica fluvial y geotecnia de la zona).

Si esta información existe, se debe validar en campo y utilizarla para implementar un sistema de información geográfica, para realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación en posibles etapas posteriores.

4.1.2. Aspectos sociales

Estos aspectos corresponden a la situación actual o por desarrollar en los campos de infraestructura, político, organizacional, institucional, educativo y cultural.

Previo al reconocimiento preliminar de las zonas vulnerables es recomendable contar con una caracterización socioeconómica del sector objeto de evaluación. Con este fin se debe verificar la existencia de información preliminar del estado de desarrollo social de la población con vulnerabilidad a inundaciones, con especial énfasis en los siguientes temas:

a) Nivel de vida

Incluye el bienestar material de la población y la infraestructura existente (condiciones actuales y futuras):

- Ubicación y formación de asentamientos humanos regulares e irregulares.
- Tipo de viviendas.
- Áreas productivas (industrial y agrícola).
- Planes de desarrollo municipal.
- Vías de comunicación.
- Infraestructura de servicios, tales como sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico, redes eléctricas y servicio de gas domiciliario.
- Equipamiento (edificios de servicios, hospitales, escuelas, templos, centros culturales, parques, etc.).

b) Nivel de formación

Involucra identificar los problemas relacionados con la planeación y la cultura del medio social.

- Falta de conocimiento y desinformación de la población y de los profesionales de distintas áreas sobre los problemas y sus causas, razón por la cual los inconvenientes hidráulicos que se pretenden resolver simplemente los trasladan a otro sector o resultan en obras de mayor magnitud a la inicialmente requerida.
- Resistencia de la comunidad al cambio, ya sea por reubicación o por la necesidad de aprovechamiento de las zonas agrícolas fértiles.

- Falta de visión en los procesos de planeación y desarrollo de las áreas urbanas, que no incorporan los aspectos relacionados con los componentes de la infraestructura del agua.
- Se deben identificar problemas de asentamientos generados por la posible obtención de indemnizaciones.

c) Costumbres

Relación cultural y económica entre los habitantes de la zona de estudio y los cauces de agua, como medio de subsistencia directa, por ejemplo la pesca, o indirecta mediante el aprovechamiento de los suelos fértiles de las planicies de inundación para agricultura.

d) Escenarios de gestión estatal

Se refiere a la estructura administrativa estatal existente en la zona de influencia, encargada de la planeación y el desarrollo en materia de protección y uso de los recursos naturales, saneamiento básico, educación y participación comunitaria, así como los planes y esquemas de desarrollo existentes.

En caso de que se cuente con dicha información, ésta se debe validar en campo y disponer de ella para implementar un sistema de información geográfica para realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación en una posible Fase II.

4.1.3. Aspectos ambientales

La existencia o el conocimiento de una línea base ambiental permite comparar el estado ambiental actual con los resultantes ante un evento extraordinario. Razón por la cual en la Fase I es importante recopilar información referente a los principales componentes ambientales bióticos y abióticos, los cuales junto con los aspectos socioeconómicos que se describen en los numerales 4.1.2 y 4.1.4, respectivamente, conforman una línea base que permite identificar efectos y modificaciones del medio ante la presencia de eventos extraordinarios.

Es necesario tener en cuenta el levantamiento de la siguiente información preliminar del sector objeto de estudio:

a) Áreas naturales protegidas, tales como:

- Zonas de manejo y preservación ambiental (ZMPA).
- Parques nacionales.
- Áreas de protección de flora y fauna.
- Zonas de reserva.

b) Información general del medio físico y biótico y de los principales impactos que se pueden generar sobre éstos por acción directa de la inundación.

c) Identificación y dimensionamiento general de los impactos indirectos al medio natural (biótico y abiótico), para lo cual es necesario tener en cuenta la infraestructura existente y los posibles impactos que se podrían presentar ante una falla operativa o estructural, así como la existencia de planes de contingencia relacionados con eventos extraordinarios.

d) Identificación general de fenómenos de pérdida de cobertura vegetal como consecuencia de eventos de caudales torrenciales.

e) Identificación general de los diferentes asentamientos humanos, así como las afectaciones antrópicas sobre la cuenca.

En caso de que se cuente con esta información, se debe validar en campo y disponer de ella para implementar un sistema de información geográfica y poder realizar su almacenamiento, procesamiento y evaluación en una posible Fase II.

Si no se cuenta con la información requerida, ésta se debe evaluar con base en la observación en desarrollo de la visita de campo.

4.1.4. Aspectos económicos

Para estimar, mediante observación en la visita de reconocimiento en la Fase I, el daño causado en el desarrollo de la zona por un evento extraordinario es conveniente contar con información económica preliminar sobre las características del área de estudio, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Extensión del área en riesgo y uso del suelo presente y futuro.
- Series estadísticas de tendencias de producción industrial y agrícola.
- Forma de utilización de los recursos naturales y las diversas actividades productivas que incluyen agricultura, ganadería, forestación, industria y minería, así como de las pérdidas de producción relacionadas.
- Pérdida de bienes, como viviendas, infraestructura de producción y servicios, como consecuencia de eventos de inundación históricos.
- Costos adicionales por la utilización de medios alternos en la producción o prestación de servicios a raíz de eventos de inundación históricos.
- Costos históricos de atención de la población afectada durante eventos de emergencia.

Si no se cuenta con esta información se debe validar durante el reconocimiento de campo y utilizarla para implementar un sistema de información geográfica que permita su almacenamiento, procesamiento y evaluación en una posible Fase II.

4.2. Visita y trabajo de reconocimiento

En la Fase I, para identificar las zonas con potenciales afectaciones por causa de eventos de inundación no se requiere gran cantidad de tiempo y recursos sino de conocimientos institucionales, históricos y técnicos. En esta fase lo recomendable es realizar un reconocimiento de campo preliminar en el cual participe todo el equipo interdisciplinario con el acompañamiento de las entidades públicas involucradas y de los representantes de la comunidad del lugar.

Esta actividad tiene como objetivo identificar las zonas que presentan vulnerabilidad a inundaciones, para establecer en primera instancia el riesgo y nivel de afectación en caso de la existencia de un evento con estas características.

4.3. Definición del área de influencia

El trabajo previo, que corresponde a la definición preliminar del área de influencia de acuerdo con el problema general identificado y al levantamiento, recopilación y clasificación de información preliminar, debe permitir plantear las actividades básicas iniciales del equipo de trabajo, que ayuden a entender de manera clara el problema que se trata y a desarrollar etapas posteriores que permitan proponer alternativas para atender y solucionar de manera integral el evento de inundación.

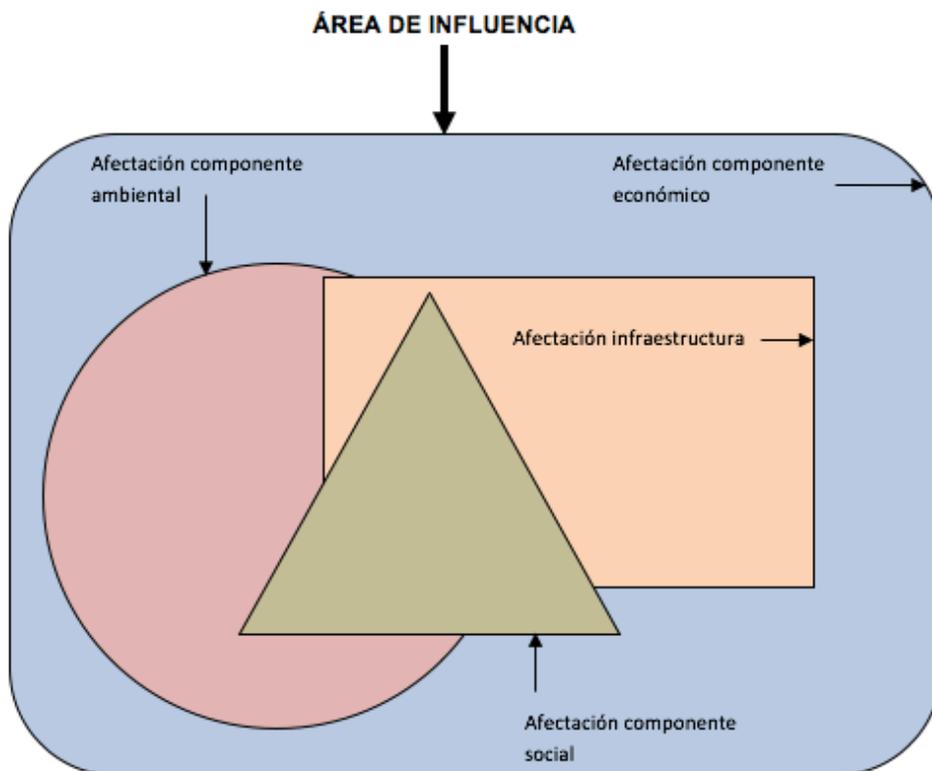


Figura 4. Esquema de definición del área de influencia

El área de influencia general y preliminar será aquella en la que se manifiesten los impactos ocasionados por el evento de inundación, sobre el medio ambiente (biótico y abiótico) y el medio socioeconómico (antrópico). Esta área debe incluir, entre otros, la cuenca o cuencas hidrográficas, donde se desarrollan los ecosistemas y las unidades territoriales, abarcando siempre la mayor de éstas, teniendo en cuenta que sus escalas espaciales no necesariamente son las mismas, tal como se muestra en la figura 4.1.

Para desarrollar esta actividad como se propone en este estudio se recomienda contar con información cartográfica básica, como planchas escala 1:25.000 o superior, con relieve, esquemas o fotografías sobre las emergencias invernales ocurridas en la zona objeto de análisis y estudios preliminares que permitan definir en principio unos límites del área de estudio y las principales características morfológicas, ambientales, sociales y económicas, de acuerdo con los parámetros recomendados en el numeral 4.1. También es importante realizar un inventario de obras de infraestructura de protección de márgenes.

4.4. Diagnostico preliminar, conclusiones y recomendaciones

Una vez se identifique y clasifique la información preliminar y el área objeto de estudio, los integrantes del equipo interdisciplinario deberán realizar por separado un diagnóstico preliminar de la zona. Dicha evaluación exige el desarrollo de visitas y trabajos de reconocimiento, con el propósito de identificar zonas potencialmente inundables, sus causas, la gravedad de sus afectaciones y las posibles soluciones. Para esta evaluación se recomienda tomar como referencia el nivel de desarrollo actual y futuro de la zona.

Se puede presentar el caso de que el resultado de esta primera evaluación concluya que no existe riesgo de inundación sobre zonas habitables o productivas; entonces será necesario presentar las conclusiones y recomendaciones del caso; así por ejemplo la solución podría ser de tipo normativo, que lleve a implementar

medidas legislativas, reglamentarias o similares para precisar determinar el uso del suelo, razón por lo cual no sería necesario profundizar en más estudios.

En caso de que el equipo de trabajo, con base en las condiciones evaluadas en la zona en desarrollo de la Fase I, recomiende realizar estudios más detallados en una nueva fase denominada Fase II, se debe definir el tipo y detalle de la información requerida para dar continuidad al esquema metodológico propuesto. Igualmente, es necesario prever la metodología para almacenar, procesar y evaluar la información.

Como resultado de esta evaluación preliminar se debe presentar un documento en el cual se recopilen las conclusiones y recomendaciones particulares propuestas por el grupo de especialistas, entre las cuales prioritariamente se debe contar con la identificación del problema, las causas y los efectos, el área de afectación definida, un inventario de la información existente y la descripción y definición de la información requerida.

Capítulo V

Fase II. Levantamiento, procesamiento y análisis de información

La Fase II se realiza con base en el trabajo de observación, identificación y análisis adelantado en la Fase I, correspondiente a las actividades de recopilación y estudio de la información primaria y a la evaluación de los efectos potenciales o consecuencias del riesgo.

Para iniciar la Fase II se deben tener en cuenta los resultados y recomendaciones emitidos en la Fase I por el grupo de trabajo.

De acuerdo con el área de influencia establecida, que podrá ser ajustada, y el tipo y detalle de la información definidos en la Fase I se debe recopilar información referente a levantamientos topográficos o batimétricos, hidrología, climatología, hidráulica, geología, geotecnia, aspectos sociales, ambientales y económicos, con el fin de hacer una caracterización detallada del área de estudio.

Para integrar los diferentes aspectos (sociales, económicos, técnicos y ambientales) que se deben considerar en el plan integral para la mitigación del riesgo por inundación en la ribera de los ríos se debe implementar un sistema de información geográfica, el cual debe permitir almacenar, manipular y analizar la información recopilada y mostrar los resultados obtenidos, facilitando los procesos de planeación.

De acuerdo con algunos autores, los SIG permiten manejar información de dos tipos: información de contexto básico y de contexto temático. En el primero se enlistan las secciones transversales: el eje del río, las curvas de nivel, los puntos topográficos, las parcelas, el área de la cuenca, las márgenes del cauce, etc. Por su parte, en el segundo tipo se carga información administrativa como departamentos, municipios, parques naturales, centros poblados; información hidrológica como ciénagas, drenajes sencillos, subcuencas, represas y otro tipo de hidrografía, además lo que tiene que ver con la infraestructura y el uso del suelo, entre otros (Zapa, 2012)

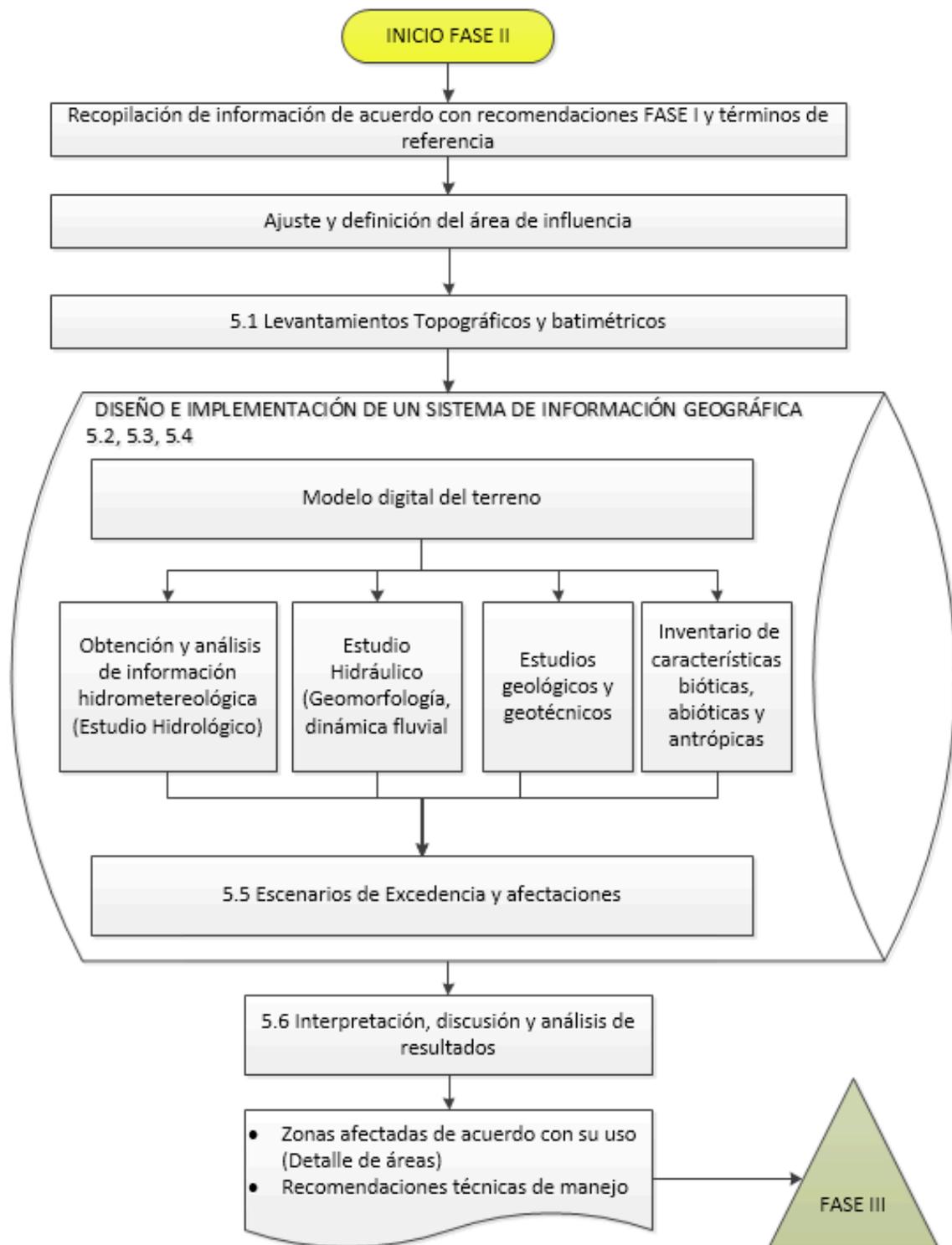


Figura 5. Fase II Levantamiento, procesamiento y análisis de información

Para organizar geográficamente la información recopilada es recomendable diseñar el SIG en una serie de temas de datos o capas que se pueden integrar mediante su ubicación en un modelo digital del terreno. Con este fin se debe definir los temas de datos que se van a utilizar (información) y las representaciones de cada capa temática.

Toda la información debe tener el mismo sistema de referencia. Para Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi adoptó como único datum oficial el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, también denominado Magna-Sirgas (IGAC, 2005).

El procedimiento propuesto para el desarrollo de actividades de la Fase II se presenta en el Diagrama 2 Fase II Levantamiento, procesamiento y análisis de información

Con base en lo expuesto, a continuación se presenta el detalle de la información que se debe recopilar.

5.1. Levantamientos topográficos y batimétricos

Los objetivos de levantar información topográfica y batimétrica son:

- Obtener un modelo digital del terreno (MDT) del área de estudio.
- Realizar el inventario de las estructuras hidráulicas localizadas en el cauce o en sus márgenes, y sus catastros correspondientes.

5.1.1. Captura de datos para el modelo digital del terreno

Es importante la calidad y cantidad de los datos capturados, ya que el resultado de su procesamiento es un factor limitante en el desarrollo de modelaciones posteriores.

Existen diversos métodos de captura de datos para la construcción de un modelo digital de elevaciones, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos de captura de datos para construcción de un modelo digital del terreno

DIRECTOS	Altimetría	Altímetros transportados por plataformas aéreas.
	GPS	Sistema de localización mediante satélites.
	Topografía	Mediante estaciones topográficas con salida digital.
INDIRECTOS	Restitución	Origen digital: imágenes digitales captadas por satélites con diferentes ángulos de visión.
		Origen analógico: pares fotográficos convencionales.
	Digitalización	Manual: mediante tableros Digitalizadores. Automática: mediante <i>scanner</i> .

Fuente: Ángel M. Felicísimo. Introducción a los modelos digitales del terreno.

Métodos directos:

- **Altimetría.** Corresponden a altímetros incorporados en satélites o en medios aerotransportados. Un ejemplo son los levantamientos Lidar (Light Detection and Ranging), los cuales permiten el levantamiento de grandes áreas con gran precisión. Su mayor ventaja reside en que se trata de un método de captación remota de información, por lo que la toma de los datos no está limitada por la accesibilidad de la zona.
- **GPS.** Un ejemplo de este método es el GPS RTK (Real Time Kinematic), que se compone de un GPS fijo (estación de referencia) y un GPS en movimiento (rover). La estación de referencia tiene un radio enlace conectado y transmite los datos que recibe de los satélites. El rover también tiene un radio enlace y recibe la señal transmitida de la referencia. Para su implementación se debe acceder físicamente a la zona de levantamientos. Este método tiene algunos requisitos como un tiempo relativamente elevado para obtener datos fiables, condiciones favorables para el acceso simultáneo a un número mínimo de satélites y poca cobertura vegetal sobre la antena receptora.

- **Topografía.** Se basa en el empleo de una estación total, con la cual se pueden medir distancias y ángulos horizontales y verticales. Conociendo las coordenadas del lugar donde está ubicada la estación es posible determinar las coordenadas tridimensionales de todos los puntos que se miden. Al igual que con los GPS, es necesaria la presencia física sobre el terreno, con el consecuente requerimiento de tiempo para el levantamiento de grandes áreas.

Métodos indirectos:

- **Restitución.** Se usa con frecuencia en la creación de modelos digitales del terreno, ya que no es necesario acceder a la zona de estudio y la generación de datos es relativamente rápida. Se utilizan documentos preexistentes como pares estereoscópicos de imágenes de la zona de interés tomados desde aviones por cámaras de gran formato, también con imágenes digitales capturadas por sensores pancromáticos transportados por satélites o a partir de la generación de superficies desde otros sistemas de información geográfica, como Google Earth.
- **Digitalización.** Corresponde a la digitalización de los mapas topográficos preexistentes, lo cual puede realizarse ya sea de forma manual (mediante un tablero digitalizador) o automáticamente (a través de sensores ópticos de exploración). Si se realiza de forma manual puede resultar un proceso lento y con alta probabilidad de errores, aunque económico.

Para elegir el método de captura más apropiado o de algunas de sus combinaciones se deben tener en cuenta factores económicos y el plazo de ejecución, además de contar con el conocimiento adecuado del terreno y las limitaciones que se pueden presentar durante el desarrollo de los trabajos.

Para el caso de la batimetría se recomienda tomar secciones cada 20 metros, como máximo, y en los lugares donde se encuentren inflexiones del cauce,

verificando que en el ancho de las secciones se identifique claramente el lecho menor, las llanuras de inundación y la lámina de agua del día en que se realizó el levantamiento.

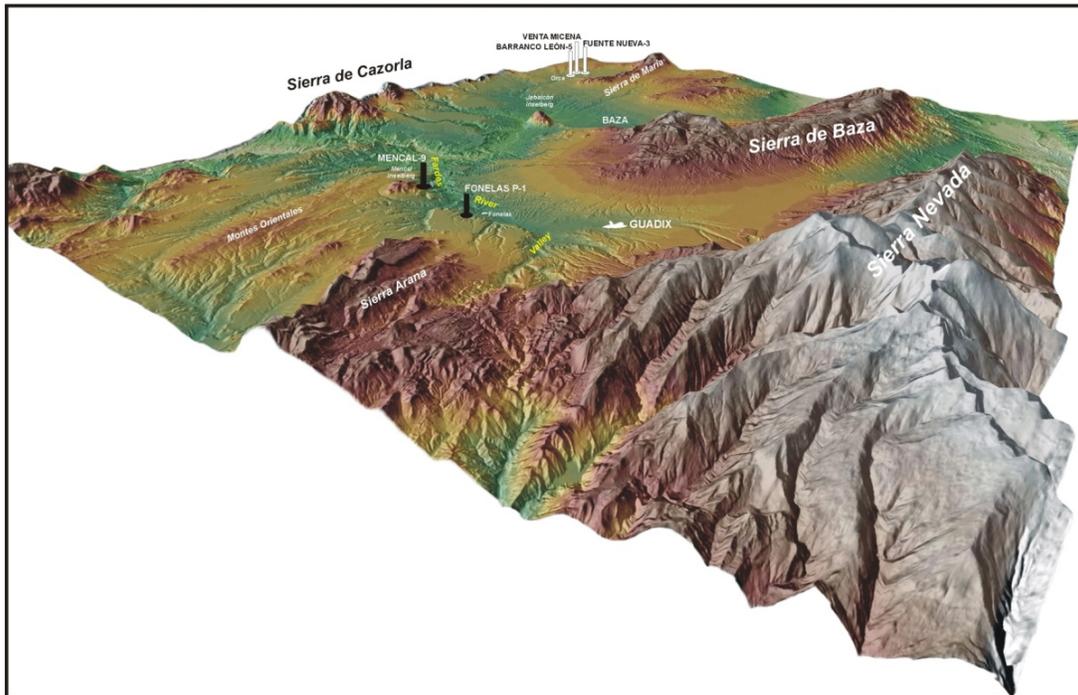


Figura 6. Modelo digital del terreno

Fuente: EPVRF-IGME (www.igme.es).

5.1.2. Inventario y catastro de las estructuras hidráulicas

Se debe realizar un inventario georreferenciado de las estructuras existentes en el cauce, como puentes, pontones, box culverts, alcantarillas y obras de protección marginal, entre otras, que afecten la hidráulica de la corriente de agua.

Este inventario debe incorporar un catastro que permita identificar las dimensiones de las estructuras y su ubicación respecto al eje del cauce

5.2. Características bióticas, abióticas y antrópicas del área de estudio

La adecuada identificación de las características bióticas, abióticas y antropológicas de la zona de estudio y su inclusión en un sistema de información geográfica permitirá superponerlas respecto a las líneas de inundación generadas por eventos extremos, identificando las afectaciones correspondientes.

La presente metodología no tiene como propósito elaborar un inventario exhaustivo de las características medioambientales del área de estudio, sino considerar los componentes y recursos que puedan verse afectados durante un evento de inundación.

A continuación se relaciona la información que se recomienda incluir en el sistema de información geográfica.

5.2.1. Características bióticas

Se refiere al conjunto de organismos vivos, animales y plantas, del área de influencia que se puedan ver afectados por inundaciones.

Se debe identificar en mapas el estado y la cobertura de la fauna y la flora de los ecosistemas (terrestre y acuático), indicando las áreas estratégicas, de reserva o conservación y recuperación. Dichos mapas deben contar con una escala adecuada respecto al área de influencia.

Los especialistas deben definir para cada fragmento de ecosistema los factores preponderantes que se deben tener en cuenta como ocurrencia de un evento de inundación. “Estos factores son las partes del ambiente que pueden ser afectables o susceptibles de modificación, deterioro o transformación y permiten identificar y en lo posible estimar, ya sea cualitativa o cuantitativamente, los efectos inducidos por una actividad, cuyas características puedan ser igualmente definidas” (Arboleda, 2008); en este caso, un evento de inundación.

Entre los factores ambientales del medio biótico propuestos por Arboleda González (2008), se encuentran los siguientes:

COMPONENTE	FACTOR
Flora	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidad • Abundancia • Estructura • Productividad primaria • Distribución • Superficie ocupada • Especies endémicas, dominantes o amenazadas • Agroecosistemas • Formaciones vegetales
Fauna terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidad • Abundancia • Estructura • Estado • Distribución • Migraciones • Vectores de enfermedades • Especies endémicas o amenazadas
Fauna acuática	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidad • Abundancia • Estructura • Estado • Distribución • Migraciones

5.2.2. Características abióticas

Las características abióticas tienen que ver con los componentes del espacio físico donde habitan los seres vivos.

Para el área objeto de estudio se deberá identificar en mapas la información del medio abiótico que permita conocer las condiciones físicas existentes, tomadas como un estado inicial previo a un evento de inundación.

Entre los aspectos del medio abiótico potencialmente relacionados con eventos de inundación se deben tener en cuenta los siguientes:

5.2.2.1 Clima

Una vez establecida la ubicación de las diferentes estaciones hidrométricas y climatológicas existentes en el área de influencia y sus alrededores se deben obtener y procesar los registros históricos, con el fin de realizar los análisis estadísticos del caso.

La ubicación geográfica de las estaciones y los valores medios de los registros disponibles permitirán identificar sectores climatológicos.

Se debe estimar el comportamiento mensual multianual de las siguientes variables, asociadas al área de influencia: temperatura, presión atmosférica, precipitación (media mensual, anual y su distribución en el espacio), humedad relativa (media, máximas y mínimas mensuales), viento, radiación solar, nubosidad y evaporación (MAVDT, 2010).

5.2.2.2 Usos del agua

Se deben identificar los usos actuales y prospectivos de los cuerpos de agua objeto de estudio, teniendo en cuenta lo que establecen los planes de ordenamiento, el manejo de cuencas y las metas y objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental para la corriente. Se deben identificar todos los usos y requerimientos como funcionamiento ecológico de los ecosistemas, suministro de agua para consumo humano, generación hidroeléctrica, riego agrícola, recreación, entre otros. (MAVDT, 2010).

5.2.2.3 Usos actual y potencial del suelo

Hay que determinar el uso actual y futuro del suelo. Entre los usos preponderantes de alta afectación durante la ocurrencia de eventos de inundación se deben tener en cuenta los siguientes:

- Infraestructura pública
- Residencial
- Cultivos
- Tierras sin uso agropecuario
- Tierras para ganadería
- Forestal
- Vías de comunicación

Para determinar los usos del suelo se deben considerar los planes de ordenamiento territorial, los planes de desarrollo municipales y los planes de manejo de cuencas hidrográficas. (MAVDT, 2010).

5.2.2.4 Paisaje

Para la caracterización del paisaje se deben tener en cuenta los siguientes criterios: inter-visibilidad, calidad visual, fragilidad visual y valoración del paisaje, entre otros.

El área de estudio del paisaje comprende diversos lugares seleccionados de zonas con alta densidad de observadores actuales y potenciales, a partir de la integración de las siguientes variables: densidad poblacional, facilidad de acceso y flujo de pasajeros y turistas actuales y proyectados.

Las unidades de paisaje son porciones del territorio con un mismo carácter paisajístico. El carácter de la unidad depende de la combinación de las formas del relieve, las coberturas del suelo, su dimensión histórica y la percepción social, así como de las relaciones especiales que se establecen entre la población y su entorno (sentimientos de arraigo y pertenencia). (MAVDT, 2010).

5.2.3. Características socioeconómicas

Como se definió en los numerales 4.1.2 y 4.1.4, los aspectos socioeconómicos corresponden a la situación actual o por desarrollar en el ámbito político, organizacional, institucional, educativo y cultural, y a la dinámica de desarrollo y la posible afectación de un evento extraordinario.

El desarrollo de la presente metodología no tiene como propósito elaborar un inventario exhaustivo de las características socioeconómicas del área de estudio, se debe analizar e identificar en mapas el estado de desarrollo socioeconómico a partir de aspectos con vulnerabilidad a eventos de inundación.

La información que se recomienda incluir en el sistema de información geográfica es la siguiente:

- Ubicación y formación de asentamientos humanos regulares e irregulares.
- Identificación de tipos de viviendas (estratificación).
- Áreas productivas (industrial y agrícola).
- Vías de comunicación.
- Infraestructura de servicios, tales como sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico, redes eléctricas y servicio de gas domiciliario.
- Equipamiento (edificios de servicios, hospitales, escuelas, templos, centros culturales, parques, etc.).
- Uso del suelo presente y futuro.

Esta información se debe validar o verificar respecto a los planes de ordenamiento territorial, los de desarrollo municipal y los de manejo de cuencas hidrográficas.

A partir de información estadística o histórica se debe evaluar el costo de los daños que puede ocasionar un evento de inundación en la infraestructura mencionada. Entre la información se debe tener en cuenta la siguiente:

- Series estadísticas de tendencias de producción industrial y agrícola.
- Forma de utilización de los recursos naturales y las diversas actividades productivas que incluyen agricultura, ganadería, forestación, industria y minería, así como de las pérdidas de producción relacionadas.
- Estimación de pérdida de bienes como viviendas, infraestructura de producción y servicios.
- Costos adicionales por la utilización de medios alternos en la producción o prestación de servicios.
- Costos históricos de atención de la población afectada durante eventos de emergencia.
- Adicionalmente, se deben tener en cuenta los siguientes factores culturales:
- Resistencia de la comunidad al cambio, ya sea por reubicación o por necesidad de aprovechamiento de zonas agrícolas fértiles.
- Falta de visión en la planeación y desarrollo de áreas urbanas, que no incorporan los aspectos relacionados con los distintos componentes de la infraestructura del agua.
- Identificación de problemas de asentamientos generados por la posible obtención de indemnizaciones.
- Relación cultural y económica entre los habitantes de la zona de estudio y los cauces de agua, como medio de subsistencia directa, por ejemplo la pesca, o indirecta mediante el aprovechamiento de los suelos fértiles de las planicies de inundación para agricultura.

Estos últimos factores permitirán analizar en fases siguientes el diseño de medidas no estructurales para la solución de la vulnerabilidad a inundaciones.

5.3. Obtención y análisis de información hidrometeorológica

Se debe determinar la frecuencia con la que distintos caudales se presentan en un cauce, recopilando y analizando los datos hidrometeorológicos del área de influencia para obtener la siguiente información:

- Evaluación de las características físicas del área de influencia.
- Ubicación de estaciones hidrométricas y climatológicas en la zona de influencia y sus alrededores, y caracterización de las variables climatológicas. Información disponible. Series históricas.
- Estimación de eventos extremos

El esquema general propuesto para la recopilación y análisis de información – Estudio Hidrológico se presenta en la Figura 7.

5.3.1. Identificación de las características físicas de la cuenca

Con base en el modelo digital del terreno (MDT), definido en el numeral 5.1 (Levantamientos topográficos y batimétricos), y haciendo uso del sistema de información geográfica se debe delimitar el área de influencia o las cuencas objeto de estudio y obtener las principales características físicas como área, perímetro, forma de la hoya, coeficiente de compacidad, factor de forma, orden de las corrientes de agua, densidad de drenaje, extensión media de la escorrentía superficial, sinuosidad de las corrientes de agua, pendiente, curva hipsométrica, elevación media, pendiente media de la corriente principal y rectángulo equivalente, o las que el especialista considere necesarias. Según Monsalve (1999), estas características proporcionan la más conveniente posibilidad para conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico .

Adicionalmente, se deben identificar las características del suelo y su uso, los cuales influyen de manera importante en el fenómeno de la escorrentía.

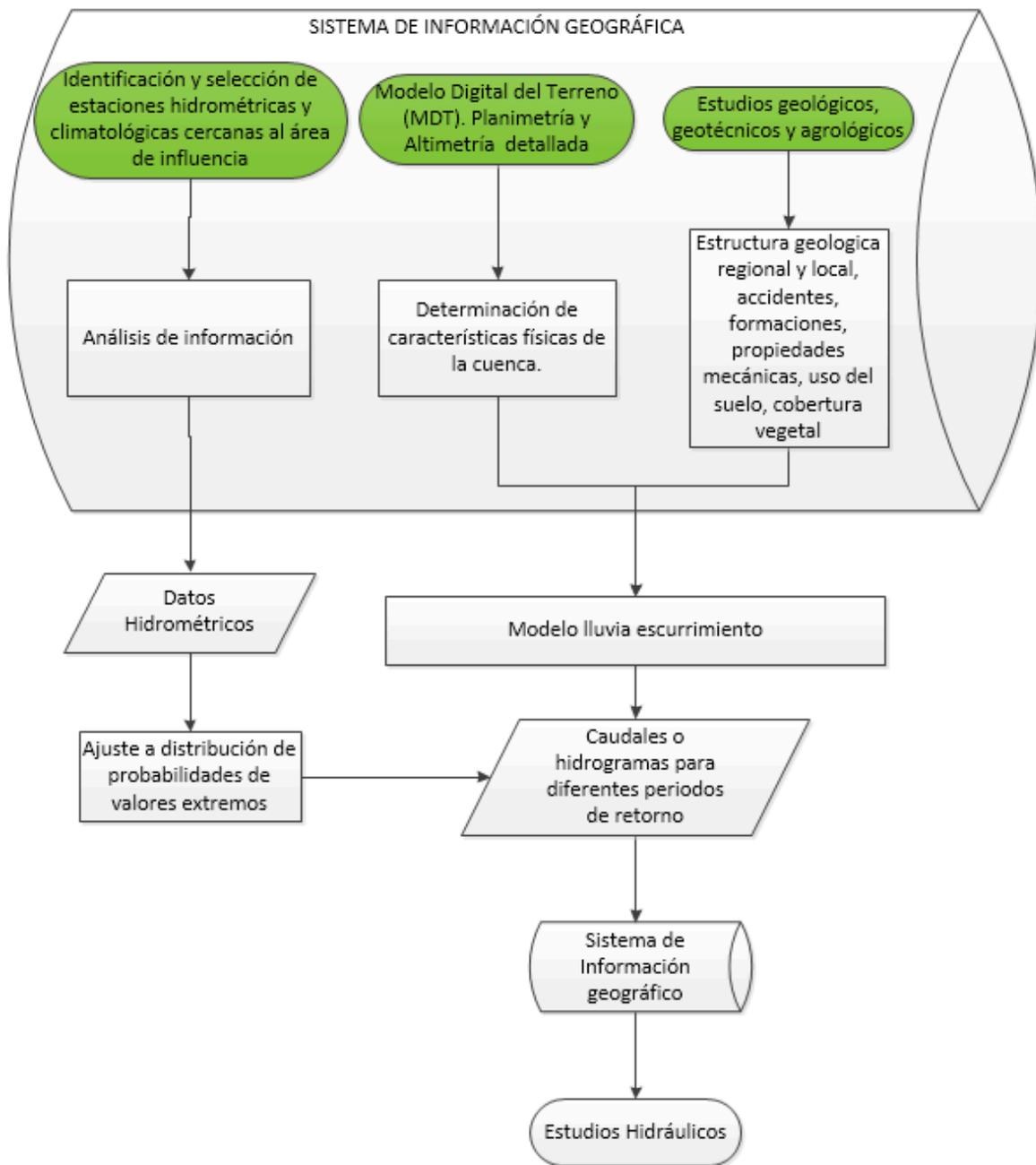


Figura 7. Recopilación y análisis de información – Estudio Hidrológico

5.3.2. Estaciones hidrométricas y climatológicas de la zona de influencia y sus alrededores, y caracterización de las variables climatológicas, información disponible, series históricas

Una vez establecida la ubicación de las estaciones hidrométricas y climatológicas existentes en el área de influencia y sus alrededores, se deben conseguir y procesar los registros históricos, con el fin de efectuar los análisis estadísticos del caso.

La ubicación geográfica de las estaciones y los valores medios de los registros disponibles permitirá identificar sectores climatológicos.

La información hidrológica disponible permitirá ajustar los datos observados a diferentes funciones de probabilidad, con el fin de estimar la magnitud de los eventos de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y teniendo en cuenta el espacio y el tiempo como variables.

5.3.3. Estimación de caudales medios, mínimos y máximos

Una estación hidrométrica ubicada cerca de los sitios de interés con datos de al menos 20 años puede resultar adecuada para realizar un análisis de caudales. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua de México, Conagua (2011), para una muestra de N años no es aconsejable extrapolar para periodos de retorno con órdenes de magnitud mayores a $10N$; en todo caso, se recomienda evaluar los caudales correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, teniendo en cuenta que este periodo lo debe definir el grupo de especialistas, de acuerdo con las características de la infraestructura que se va a proteger y la normatividad vigente.

Cuando no se cuente con una estación hidrométrica o sus registros sean insuficientes, es necesario estimar la escorrentía superficial a partir de los datos de lluvia.

A continuación se presentan los casos con la existencia y sin ella de datos hidrométricos.

- Con existencia de datos hidrométricos

En este caso la variable de caudal se obtiene directamente del registro de mediciones y la estimación de caudales para diferentes tiempos de retorno se logra mediante el ajuste de los datos disponibles, a una distribución de probabilidad para valores extremos.

Entre las distribuciones de valores extremos más comunes se encuentran las siguientes:

- Log-normal
- Gumbel
- Pearson Tipo III

Se recomienda aplicar varias distribuciones de valores extremos y aplicar la que presente un mejor ajuste.

- Únicamente con datos climatológicos.

Cuando no se cuenta con una estación hidrométrica cercana al cauce objeto de estudio, los caudales se deben calcular indirectamente a partir de los datos de lluvia dentro o cerca de la cuenca, para lo cual se cuentan con diversos métodos, como los que se relacionan a continuación:

- Fórmulas empíricas para el cálculo de caudales de creciente:
 - Fórmula de Burkli - Ziegler
 - Fórmula de Kresnik
 - Fórmula de Creager
 - Fórmula de Baird y McIlwrsith
 - Modelo morfométrico
 - Fórmula de Macmath
 - Fórmula de Santi

- Método del hidrograma unitario
- Modelación hidrológica (HEC-HMS)

Se debe tener en cuenta que las fórmulas empíricas no se deben utilizar directamente, salvo que la expresión haya sido determinada en la región de interés, que para este caso no aplica.

Para la presente metodología es factible estimar el hidrograma de crecientes y su caudal máximo instantáneo con el método del hidrograma unitario, debido que a diferencia de las fórmulas empíricas este hidrograma se considera único para la cuenca objeto de estudio.

Para el desarrollo del modelo HEC-HMS, además del procesamiento de datos climatológicos, se deben realizar las siguientes actividades:

- Esquematizar el modelo de acuerdo con la información almacenada en el SIG a partir del levantamiento topográfico, del modelo digital de elevación, las coberturas y los usos del suelo, entre otros.
- Definir el hidrograma unitario.
- Definir las tormentas de diseño.
- Introducir las series de tiempo.
- Calibrar el modelo de acuerdo con aforos y monitoreo.
- Crear escenarios de excedencias.
- Definir eventos extremos.

5.4. Estudio hidráulico

A partir de la estimación de la magnitud de caudales para diferentes probabilidades de ocurrencia se deben determinar las cotas de inundación para diferentes periodos de retorno.

De acuerdo con los procedimientos descritos en el numeral 5.3.3, se podrá contar con un hidrograma de crecientes o con caudales máximos. La evaluación de las cotas de inundación dependerá de dicho insumo, como se describe a continuación:

- En caso de contar con un hidrograma de crecientes, las cotas de inundación se pueden establecer a partir del tránsito de una creciente a lo largo del río en la zona de estudio (flujo no permanente). Esta es la condición de evaluación óptima, mediante la cual se obtendrá una mancha de inundación para determinado periodo de retorno.

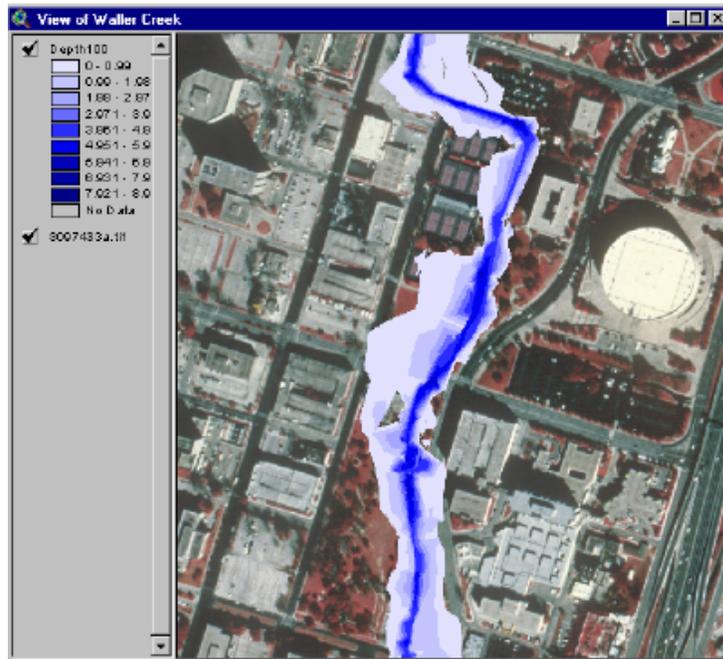


Figura 8. Vista planimétrica de delimitación de una llanura de inundación

Fuente: CRWR Online Report 99-1. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS.

- Si se cuenta con caudales máximos para diferentes secciones del cauce que debe definir el grupo de especialistas, se realizará el análisis básico de relaciones hidráulicas (flujo permanente), obteniendo la altura de la lámina de agua en cada sección. En este caso se deben evaluar las relaciones hidráulicas para flujo uniforme (Y normal) y flujo crítico (Y crítico) como se muestra en las figuras más adelante; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Figuras 9 y 10).

Relación hidráulica para Y normal:

$$A R^{2/3} = \frac{n Q}{C_o S_o^{1/2}} \quad (1)$$

Relación hidráulica para Y crítico:

$$F_r^2 = \frac{V^2}{g A/B} = \frac{B Q^2}{g A^3} \quad (2)$$

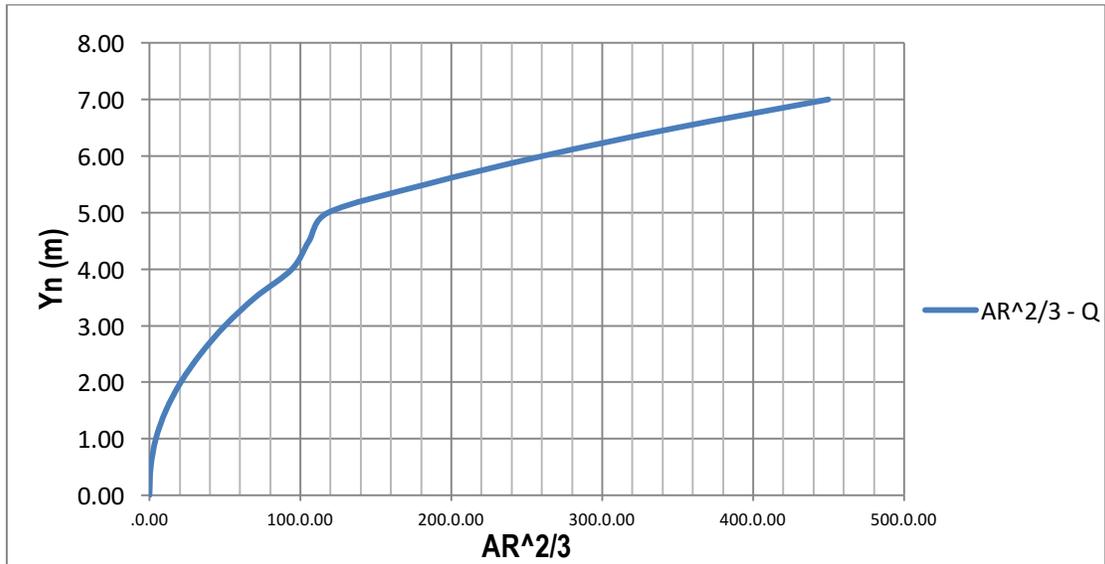


Figura 9. Relaciones hidráulicas en la sección de control para Y_n

Fuente: Propia

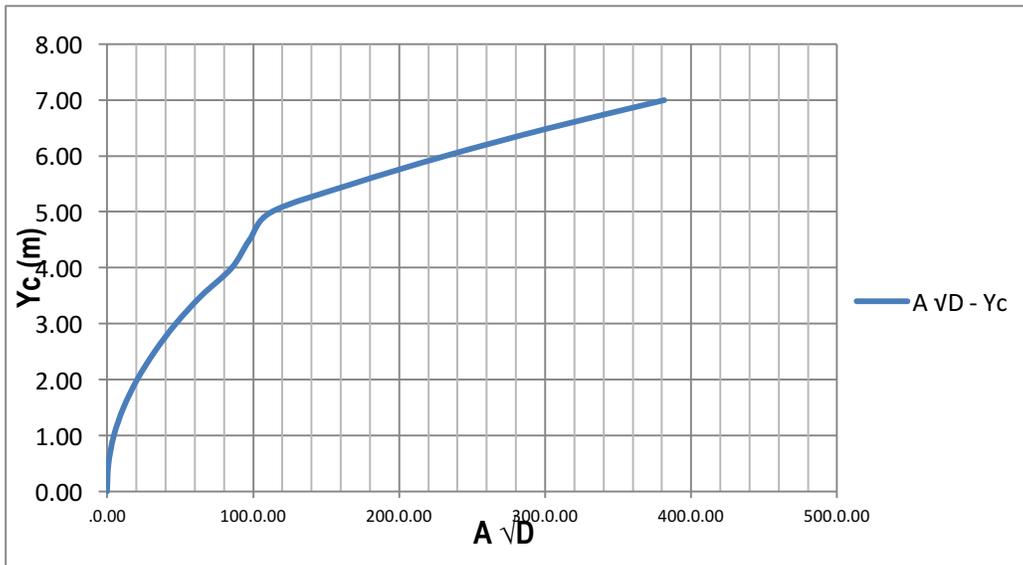


Figura 10. Relaciones hidráulicas en la sección de control para Yc

Fuente: Propia

Las líneas de inundación que se obtengan deben estar disponibles para su implementación en un sistema de información geográfica y así poderlas almacenar, procesar y evaluar de acuerdo con los otros parámetros mencionados.

5.5. Escenarios de excedencias y afectaciones

Con base en la información levantada, procesada y analizada que se describió en los numerales 5.1 a 5.4, y mediante el uso de un sistema de información geográfica se debe determinar el área afectada por el escenario de excedencias definido por el grupo de especialistas y las características del uso de dicha área.

Para tener una medida de las afectaciones mencionadas se propone dividir el área de estudio en diferentes zonas, con características similares, sobre las cuales se evaluará el costo de afectación de acuerdo con las tablas que se presentan más adelante (tablas 2, 3 y 4). Este costo se debe procesar, almacenar y evaluar en un sistema de información geográfica.

5.5.1. Zonas urbanas

Compuestas principalmente por áreas de vivienda, comercial, industrial e infraestructura urbana. En la Tabla 5.2 Afectación en zonas urbanas se propone la forma de cuantificar el costo de las afectaciones ocasionadas por los eventos de inundación, tomando como referencia el documento Guía metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en áreas agrícolas o urbanas (Velásquez, T., 2006).

Tabla 2. Afectación en zonas urbanas

ZONA URBANA			No.
VIVIENDA	Área	Valor promedio afectación/ m ²	Valor total
	(m ²)	(millones de \$)	(millones de \$)
Estrato 1			
Estrato 2			
Estrato 3			
Estrato 4			
Estrato 5			
Costos de afectación vivienda			
COMERCIAL			
Estrato 1			
Estrato 2			
Estrato 3			
Estrato 4			
Estrato 5			
Costos de afectación sector comercial			
INDUSTRIAL	Valor de infraestructura	Valor de producción diaria x días estimados de afectación	Valor total
	(millones de \$)	(millones de \$)	(millones de \$)
Industria 1			
Industria 2			
Industria 3			
Industria n			

ZONA URBANA			No.
Costos de afectación sector industrial			
INFRAESTRUCTURA URBANA	Valor de infraestructura	Valor diario de suplir la infraestructura x días estimados de afectación	Valor total
	(millones de \$)	(millones de \$)	(millones de \$)
Infraestructura 1			
Infraestructura 2			
Infraestructura 3			
Infraestructura n			
Costos de afectación a infraestructura			
COSTOS TOTALES AFECTACIÓN URBANA			

Con base en la información recopilada a través de la Tabla 2 se propone establecer los costos de afectación de la siguiente manera:

- **Vivienda.** Para el área ocupada por cada estrato se debe establecer un valor aproximado de la afectación por metro cuadrado. Dicho valor se puede calcular con base en la suma de los costos estimados por la pérdida de bienes y de atención de la población afectada como consecuencia de eventos de inundación históricos, o como un porcentaje del costo comercial de los inmuebles.
- **Comercial.** Para el área comercial ubicada en cada estrato se debe establecer un valor aproximado de la afectación por metro cuadrado. Este valor se puede estimar con base en la suma de los costos calculados por la pérdida de bienes y de atención de la población afectada por causa de eventos de inundación históricos, o como la sumatoria de un porcentaje del costo comercial de los inmuebles más un valor estimado de las pérdidas debido a la imposibilidad de operar durante la ocurrencia de dichos eventos.

- **Industrial.** Para las diferentes industrias ubicadas en el área de estudio se propone cuantificar la afectación como un porcentaje del valor de la infraestructura más un valor estimado de pérdidas debido a la imposibilidad de operar durante la ocurrencia de eventos de inundación.
- **Infraestructura urbana.** Se propone cuantificar la afectación de la infraestructura como un porcentaje de su valor más un costo estimado de las pérdidas debido a la imposibilidad de prestar servicio o por el costo de realizarlo por medios alternativos durante la ocurrencia de eventos de inundación.

En caso de no tener información estadística o histórica del costo de los daños en el área objeto de estudio se debe extrapolar con respecto a otra zona de características similares que cuente con dicha información.

5.5.2. Zonas rurales

Zonas compuestas principalmente por áreas de vivienda, comercial o semiindustrial e infraestructura rural. En la

Tabla 3 se propone la forma de cuantificar el costo de las afectaciones ocasionadas por los eventos de inundación, tomando como referencia el documento Guía metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en áreas agrícolas o urbanas (Velásquez, T., 2006).

Tabla 3. Afectación en zonas rurales

ZONA RURAL			No.
VIVIENDA	Área	Valor promedio/ m ²	Valor total
	(m ²)	(millones de \$)	(millones de \$)
Costo alto			

Costo medio			
Costo bajo			
Costos de afectación vivienda			
COMERCIAL - SEMIINDUSTRIAL	Valor de infraestructura	Valor de producción diaria x días estimados de afectación	Valor total
	(millones de \$)	(millones de \$)	(millones de \$)
Comercial o semiindustrial 1			
Comercial o semiindustrial 2			
Comercial o semiindustrial 3			
Comercial o semiindustrial 4			
Comercial o semiindustrial n			
Costos de afectación sector comercial o semiindustrial			
AGRÍCOLA	Valor de infraestructura	Valor de pérdidas por causa de inundaciones	Valor total
	(millones de \$)	(millones de \$)	(millones de \$)
Agrícola 1			
Agrícola 2			
Agrícola 3			
Agrícola n			
Costos de afectación sector agrícola			
INFRAESTRUCTURA RURAL	Valor de infraestructura/ m²	Valor diario de suplir la infraestructura x días estimados de afectación	Valor total
	(millones de \$)	(millones de \$)	(millones de \$)
Infraestructura 1			
Infraestructura 2			
Infraestructura 3			
Infraestructura n			
Costos de afectación a infraestructura			
COSTOS TOTALES DE AFECTACIÓN RURAL			

De acuerdo con la información recopilada y utilizando la

Tabla 3 se propone establecer los costos de afectación de la siguiente manera:

- **Vivienda.** Se debe identificar el rango de costos que tiene la vivienda en el sector rural y, si es necesario, clasificar las viviendas como de alto, medio y bajo costo, estableciendo un valor aproximado de la afectación por metro cuadrado. Dicho valor se puede calcular con base en la suma de los costos estimados por pérdida de bienes y de atención de la población afectada, como consecuencia de eventos de inundación históricos, o como un porcentaje del costo comercial de los inmuebles.
- **Comercial o semiindustrial.** Para el área comercial o semiindustrial se debe establecer un valor aproximado de la afectación, que se puede calcular con base en la suma de los costos estimados por pérdida de bienes y de atención de la población afectada, como consecuencia de eventos de inundación históricos, o como la sumatoria de un porcentaje del costo comercial de los inmuebles más un valor estimado de las pérdidas debido a la imposibilidad de operar durante la ocurrencia de dichos eventos.
- **Agrícola.** Para identificar la afectación del área agrícola se debe considerar un porcentaje del valor de la infraestructura existente para la producción agrícola más el valor de las pérdidas de producción.
- **Infraestructura rural.** Se propone cuantificar esta afectación como un porcentaje del valor de la infraestructura más un valor estimado de las pérdidas debido a la imposibilidad de prestar servicios o por el costo de realizarlos por medios alternativos durante la ocurrencia de eventos de inundación.

En caso de no contar con información estadística o histórica del costo de los daños en el área objeto de estudio se debe extrapolar respecto a una zona con características similares que cuente con dicha información.

5.5.3. Zonas especiales

Zonas compuestas por áreas naturales protegidas como parques nacionales, áreas de protección de flora y fauna, zonas de reserva y zonas de preservación cultural, entre otras.

La afectación de estas zonas se debe cuantificar como el costo ambiental de la inundación, de acuerdo con lo propuesto en la Tabla 4.

Tabla 4. Afectación en zonas especiales

ZONA ESPECIAL			No.
ZONA ESPECIAL	Área	Costo ambiental / m ²	Valor total
	(m ²)	(millones de \$)	(millones de \$)
Área natural protegida			
Parque nacional			
Área de protección de flora y fauna			
Zona de reserva			
Zona de preservación cultural			
COSTOS TOTALES DE AFECTACIÓN ESPECIAL			

5.6. Interpretación discusión y análisis de resultados

Una vez se cuantifiquen los costos ocasionados por la inundación, debidamente georreferenciados para cada una de las áreas relacionadas anteriormente, se deben clasificar los sectores o subsectores de mayor a menor, de acuerdo con la magnitud de su afectación. La afectación total para cada escenario de inundación corresponderá a la suma de las afectaciones de todas las áreas evaluadas.

Los especialistas deben analizar los resultados de dicha estimación teniendo en cuenta sus observaciones, así como las recomendaciones de la Fase I de la presente metodología, y mediante una mesa de expertos priorizar los sectores o subsectores con requerimientos de atención por riesgo de inundación.

Como resultado de la fase de levantamiento, procesamiento y análisis de información, el grupo de especialistas debe presentar un documento que recopile las memorias de los estudios y las actividades ejecutadas, además:

- Definición del escenario de excedencia seleccionado.
- Priorización de las áreas afectadas por el evento de inundación, con su correspondiente costo de afectación y georreferenciación.
- Análisis de las causas del evento de inundación.
- Recomendaciones técnicas de manejo.

Las acciones anteriores serán los insumos básicos para la ejecución del siguiente paso: Fase III Planteamiento alternativas de solución.

Capítulo VI

Fase III. Planteamiento de alternativas de solución

Esta fase se debe realizar con base en el trabajo de levantamiento, procesamiento y análisis de información adelantado en la Fase II, correspondiente a las actividades de recopilación y análisis de la información primaria y a la evaluación de efectos potenciales o consecuencias del riesgo.

Para el inicio de la Fase III se deben tener en cuenta los resultados y recomendaciones emitidos por el grupo de trabajo interdisciplinario en la Fase II, que deben incluir, entre otros temas, la priorización de las áreas afectadas por el evento de inundación, con su correspondiente costo de afectación y georreferenciación, el análisis de las causas del evento y las recomendaciones técnicas de manejo.

De acuerdo con la priorización de los sectores afectados por la inundación, sus costos de afectación y teniendo en cuenta las causas del evento y las recomendaciones técnicas de manejo realizadas por el grupo de expertos se deben plantear diferentes alternativas de solución o mitigación, ya sea generales o particulares, y evaluar la relación costo del proyecto (VCP) versus afectación de la inundación (VAI).

Aunque existen diversas metodologías para la evaluación de proyectos, en el presente documento se dan únicamente los lineamientos generales para el planteamiento de alternativas de solución, de acuerdo con Figura 11. Fase III Planteamiento de alternativas de solución.

La alternativa más económica corresponde al planteamiento de soluciones no estructurales, es decir, las que no evitan que se presenten inundaciones sino que buscan mediante acciones normativas recuperar los lechos mayores de los ríos y las áreas naturales de amortiguación de crecientes. En caso de que dicho planteamiento no solucione el problema, o no sea viable, se evaluará una posible solución definitiva que tenga en cuenta toda el área de influencia.

En caso de que la evaluación costo del proyecto (VCP) frente a la afectación de la inundación (VAI) del planteamiento de una solución general para la prevención o mitigación de eventos de inundación no sea la esperada y el costo de la posible solución sea mayor que el de afectación de la inundación ($VCP > VAI$), se deben plantear soluciones para áreas parciales, de acuerdo con su prioridad.

Se recomienda ejecutar las soluciones parciales, cuyo costo del proyecto parcial (VCPi) sea menor a la afectación de la inundación parcial (VAIi).

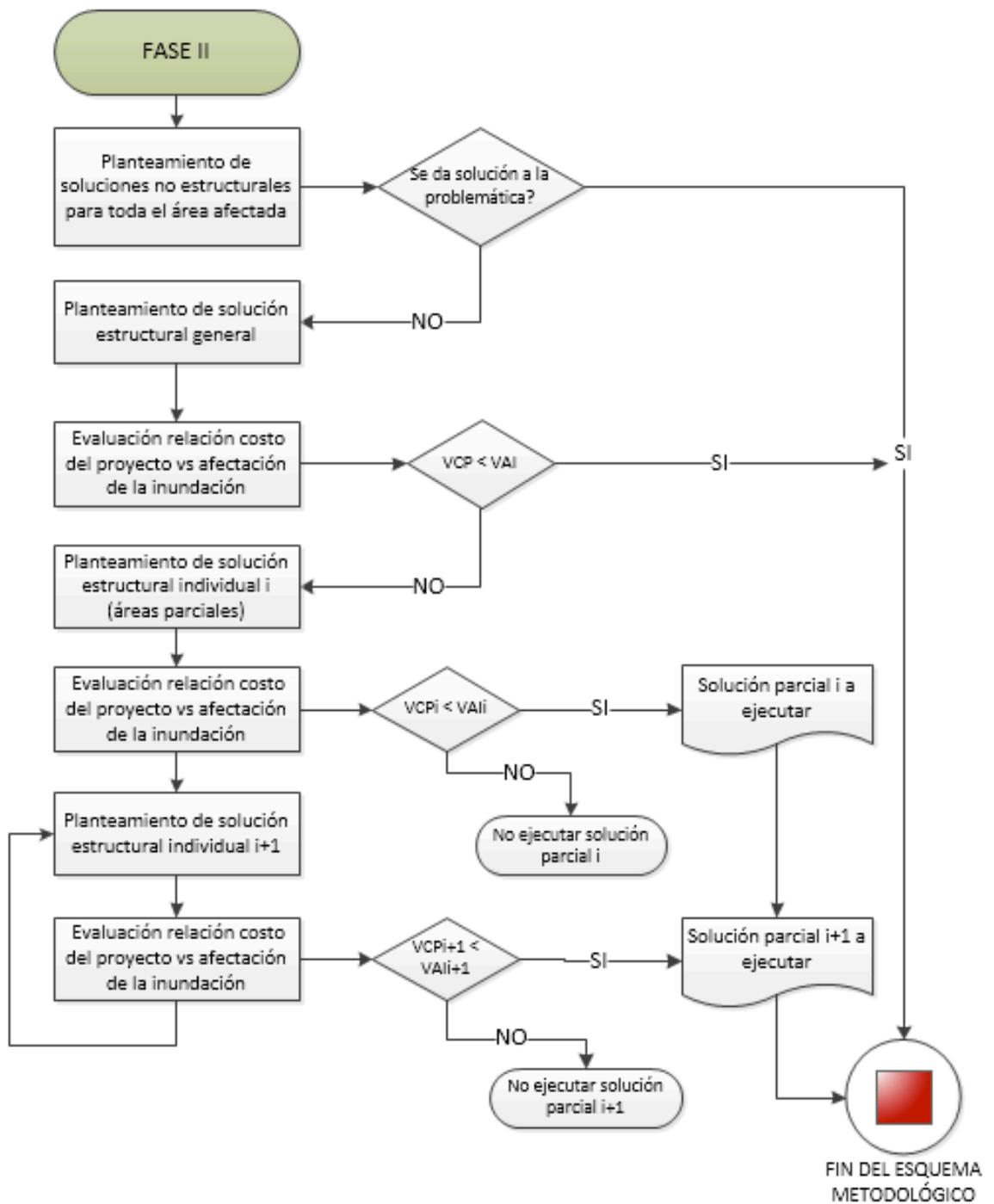


Figura 11. Fase III Planteamiento de alternativas de solución

Conclusiones

La ocurrencia de inundaciones no es atribuible a una sola causa, se generan por la combinación de diferentes variables, las cuales establecen una relación causa-efecto. Para dar solución a las causas reales de una inundación es necesario analizar y establecer la relación entre éstas, identificando cómo diversos factores contribuyen a su ocurrencia.

Teniendo en cuenta las características de las inundaciones, en este documento se ha diseñado un modelo conceptual que considera los aspectos más relevantes, como los técnicos, sociales, ambientales y económicos, entre otros. A partir de estas consideraciones se estableció la estructura general de un esquema metodológico, que se desarrolla en tres fases y que se ejecutan de manera sistemática. Cada fase tiene uno o varios productos o conclusiones que alimentan los procesos posteriores, lo cual permite obtener lineamientos para los procesos de planeación de diferentes entidades nacionales.

Para definir la línea base sobre la cual se debe desarrollar el esquema metodológico es necesario identificar los aspectos fundamentales, tomando como referencia un evento hidrológico extraordinario que define áreas inundables, zonas de erosión, movimiento de orillas, desplazamiento de asentamientos humanos e impactos sociales, económicos y ambientales.

De acuerdo con lo anterior, el esquema metodológico propone las siguientes fases:

FASE I. Incluye la definición del alcance de los estudios a nivel de prefactibilidad, con base en la conformación del grupo de trabajo multidisciplinario básico, el levantamiento de información preliminar, la definición del área de influencia, la evaluación preliminar de la zona (visita y trabajo de reconocimiento) y la identificación de zonas con potenciales afectaciones, con el fin de realizar un diagnóstico preliminar del área de estudio que defina la necesidad de proceder con el desarrollo de la segunda fase o no.

- Para la ejecución y puesta en marcha del esquema metodológico propuesto se recomienda un equipo interdisciplinario que estudie los aspectos técnicos,

ambientales, sociales, económicos y demás tópicos relevantes involucrados en los eventos de inundación; además, que analice sus efectos y plantee soluciones.

- Esta fase propone la definición preliminar de un área de influencia, de acuerdo con el problema general identificado. Junto con el levantamiento, la recopilación y la clasificación de información preliminar es posible plantear ciertas actividades básicas iniciales que debe realizar el equipo de trabajo para entender con claridad el problema existente y desarrollar etapas posteriores que permitan proponer alternativas para atender y solucionar de manera integral el evento de inundación.
- Como el desarrollo urbano, rural o una combinación de éstos implica características bien diferenciadas en las condiciones sociales, culturales, económicas, ambientales y de infraestructura, para determinar el impacto potencial de un evento de inundación es necesario que el equipo multidisciplinario que elabore dicha evaluación en esta fase del proceso realice un reconocimiento en terreno para evidenciar las condiciones particulares del área de estudio.
- Los integrantes del equipo deben realizar por separado un diagnóstico preliminar de la zona, con el propósito de identificar y confirmar áreas potencialmente inundables, sus causas, la gravedad de sus afectaciones y las posibles soluciones, teniendo como referencia el nivel de desarrollo actual y futuro de la zona.
- Como resultado, en la primera evaluación (Fase I) se puede concluir que no existe riesgo de inundación sobre zonas habitables o productivas y, entonces, la solución podría ser de tipo normativo, en la cual se deben implementar medidas legislativas, reglamentarias o similares que precisen el uso del suelo, por lo cual no sería necesario profundizar en los estudios. En todo caso, se debe presentar un documento que recopile las conclusiones y recomendaciones particulares propuestas por el grupo de especialistas, entre las cuales prioritariamente se debe contar con la identificación del problema, las causas y los efectos, el área de afectación definida, un inventario de la información existente y la descripción y definición de la información requerida.

FASE II. Esta fase incluye la recopilación, el análisis y la validación de la información, así como la evaluación de los efectos potenciales y la escenificación de impactos de manera detallada, de acuerdo con las conclusiones y recomendaciones de la Fase I.

- Con base en el área de influencia establecida, que se puede ajustar con el tipo y detalle de la información definidos en la Fase I, se debe recopilar información referente a levantamientos topográficos o batimétricos, hidrología, climatología, hidráulica, geología, geotecnia, aspectos sociales, ambientales y económicos, con el fin de hacer una caracterización detallada del área de estudio.
- Para integrar los diferentes aspectos (sociales, económicos, técnicos y ambientales) que se deben considerar en el plan integral para la mitigación del riesgo por inundación en la ribera de los ríos, se debe implementar un sistema de información geográfica que permita almacenar, manipular y analizar la información recopilada y mostrar los resultados obtenidos, facilitando los procesos de planeación.
- La calidad de los datos capturados y la identificación de las características para cada uno de los aspectos considerados en el esquema metodológico y su validación son de gran importancia, ya que el resultado de su procesamiento es uno de los principales factores limitantes en el desarrollo de modelaciones o estudios posteriores.
- La adecuada identificación de las características bióticas, abióticas y antropológicas de la zona de estudio y su inclusión en un sistema de información geográfica permitirá superponerlas respecto a las líneas de inundación generadas por eventos extremos, identificando las afectaciones correspondientes.
- Con base en la información levantada, procesada y analizada, y mediante el uso de un sistema de información geográfica, se debe determinar el área afectada por el

escenario de excedencias definido por el grupo de especialistas y las características del uso de dicha área.

- Para tener una medida de las afectaciones mencionadas se propone dividir el área de estudio en zonas con características similares, sobre las cuales se evalúe el costo de afectación.
- Para evaluar el costo de los daños que puede ocasionar un evento de inundación es necesario recurrir a información histórica, tanto de eventos previos como de series estadísticas de producción industrial y agrícola.
- Dependiendo de la calidad de la información capturada para cada uno de los aspectos considerados en la metodología se requiere que se adopte la metodología específica adecuada para su procesamiento, de acuerdo con el criterio de los especialistas.
- Como resultado de la Fase II el grupo de especialistas debe presentar un documento que recopile las memorias de los estudios y las actividades ejecutadas, que incluya la definición del escenario de excedencia seleccionado, la priorización de las áreas afectadas, con su correspondiente costo de afectación y georreferenciación, el análisis de las causas del evento de inundación y las recomendaciones técnicas de manejo.

FASE III. Con los resultados y recomendaciones emitidos por el grupo de trabajo interdisciplinario en la Fase II, la priorización de los sectores afectados por la inundación, sus costos de afectación y teniendo en cuenta las causas del evento y las recomendaciones técnicas de manejo propuestas por el grupo de expertos se deben plantear diferentes alternativas de solución o mitigación, ya sea generales o particulares y evaluar la relación costo del proyecto (VCP) frente a la afectación de la inundación (VAI).

- Aunque existen diversas metodologías para la evaluación de proyectos, el presente documento propone únicamente los lineamientos generales para el planteamiento de

alternativas de solución o mitigación, ya sea generales o particulares, a partir de la evaluación de la relación costo del proyecto (VCP) frente a la afectación de la inundación (VAI).

- En caso de que la evaluación costo del proyecto (VCP) frente a la afectación de la inundación (VAI) del planteamiento de una solución general para la prevención o mitigación de eventos de inundación no sea la esperada y el costo de la posible solución sea mayor que el de la afectación de la inundación ($VCP > VAI$), se deben plantear soluciones para áreas parciales, de acuerdo con su prioridad.
- Se recomienda ejecutar las soluciones parciales, cuyo costo del proyecto parcial (VCPi) sea menor a la afectación de la inundación parcial (VAIi).

Recomendaciones

Las entidades locales, con el acompañamiento o por solicitud de la comunidad, son quienes generalmente solicitan la atención para evaluar los riesgos de inundación en sectores ribereños, ya sea como medida preventiva o para dar solución a eventos recurrentes. Estos actores, que muchas veces son excluidos del proceso de planeación que debe iniciarse en la primera fase de la presente metodología, deben hacer parte integral de éste, dado el conocimiento institucional e histórico que poseen de las características del área de estudio.

La información capturada para cada uno de los aspectos considerados en la metodología se debe validar o verificar respecto a los diferentes planes de ordenamiento territorial, de desarrollo municipal y de manejo de cuencas hidrográficas. De igual manera, las soluciones propuestas deben ser acordes con éstos o, en caso contrario, se deben dar las recomendaciones para su actualización o modificación.

Aunque dentro de la metodología propuesta, específicamente en la Fase III, Planteamiento de alternativas de solución, se recomienda la ejecución de las soluciones parciales cuyo costo del proyecto parcial (VCP) sea menor a la afectación de la inundación parcial (VAI), es posible que los especialistas, basados en las situaciones particulares del área de estudio, recomienden ejecutar soluciones que no cumplan con el planteamiento propuesto.

Dado que se propone una metodología general, los especialistas en cada uno de los aspectos particulares del problema que les concierne deberán proponer y utilizar las metodologías y procedimientos más adecuados y presentar una justificación de su uso, estableciendo sus ventajas o conveniencia y considerando la calidad y cantidad de la información capturada.

Bibliografía

Arboleda González, J.A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín.

Banco Mundial, Ministerio del interior y de justicia, Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres (2009). Guía municipal para la gestión del riesgo.

Comisión Nacional del Agua (2011). Manual para el control de inundaciones. Gobierno Federal Estados Unidos Mexicanos.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam (2011). Desarrollo, evolución y efectos del incremento de las lluvias generadas por el fenómeno de La Niña año 2010 y 2011 en Colombia.

Màrquez, G. (8 de febrero de 2009). Las inundaciones: de proceso natural a catástrofe humana. Periódico Universidad Nacional de Colombia, p. 2.

Monsalve Sáenz, G. (2009). Hidrología en la ingeniería, Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Resolución 068 del 28 de enero de 2005, por la cual se adopta como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA-SIRGAS. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2005).

Rodríguez Amaya, C. (2005) Plan Nacional para el manejo de inundaciones y prevención de otros desastres invernales (documento de trabajo V.1).

Velásquez, T. (2006). Guía Metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en áreas agrícolas o urbanas. Ministerio de Economía y Finanzas. Dirección General de Programación Multianual del Sector Público – DGPM. Perú.

Zapa, J. (2012). Modelo metodológico de gestión de riesgos por inundaciones aplicado a la cuenca del Río Sinu (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C.

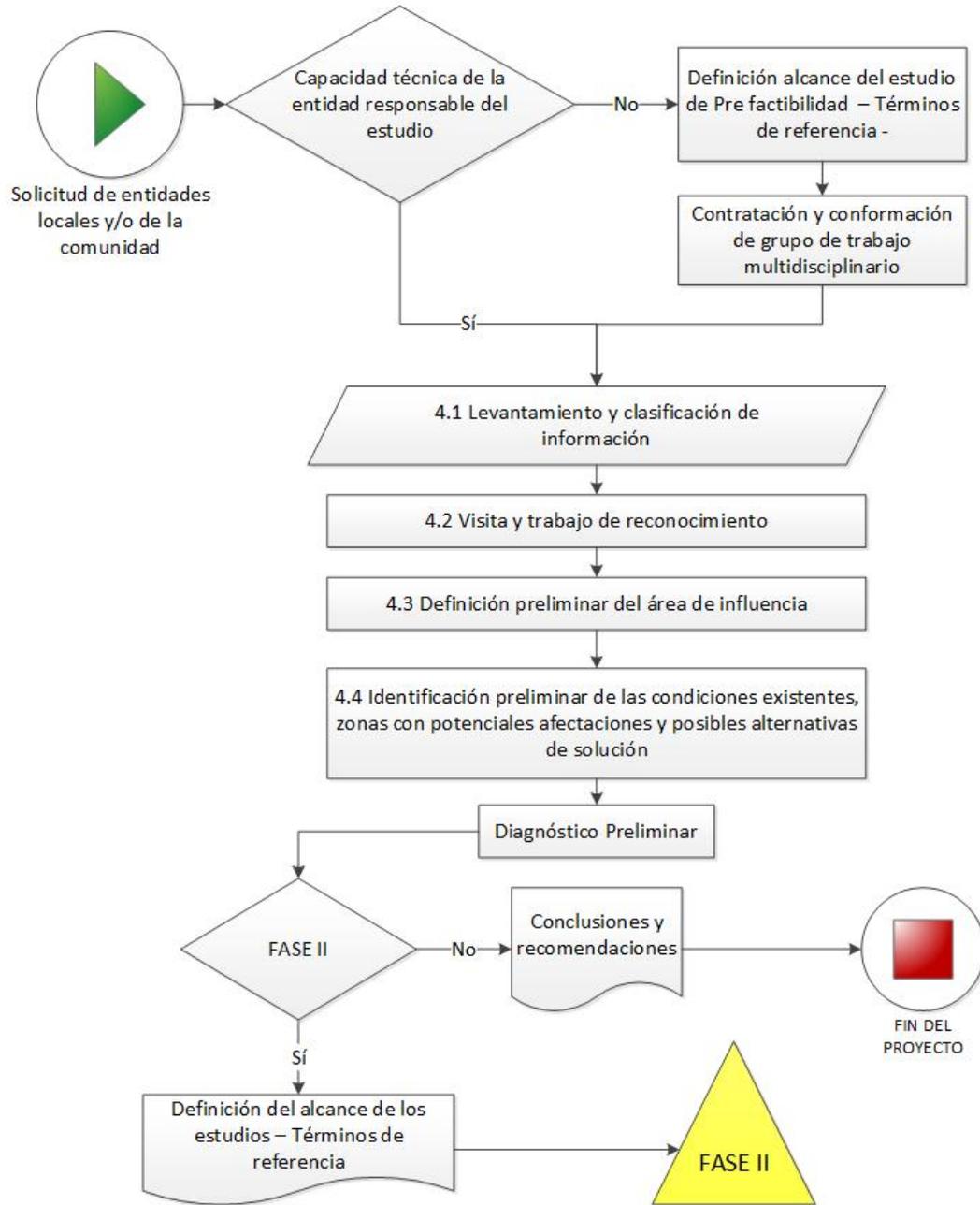
Zapata P., D.M., Londoño B, C.A. et al (eds.). González H, C.V., Idárraga A, J., Poveda G, A. et al. (textos). (2010). Metodología general para la presentación de estudios ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C.

Anexo 1.

Diagramas generales de las fases propuestas

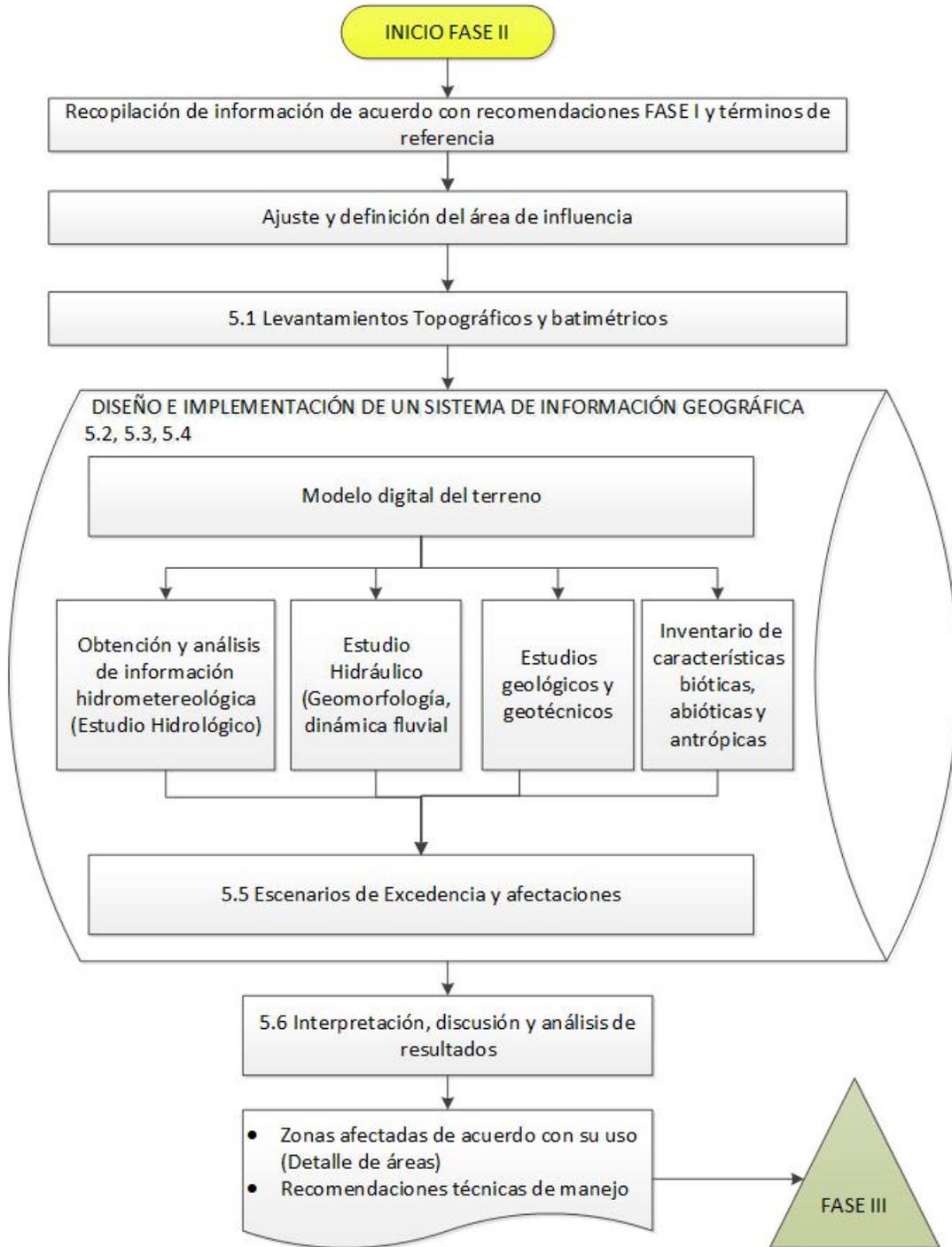
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EVALUACIÓN DE SECTORES RIBEREÑOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN.

DIAGRAMA FASE I - OBSERVACIÓN – TRABAJOS DE CAMPO



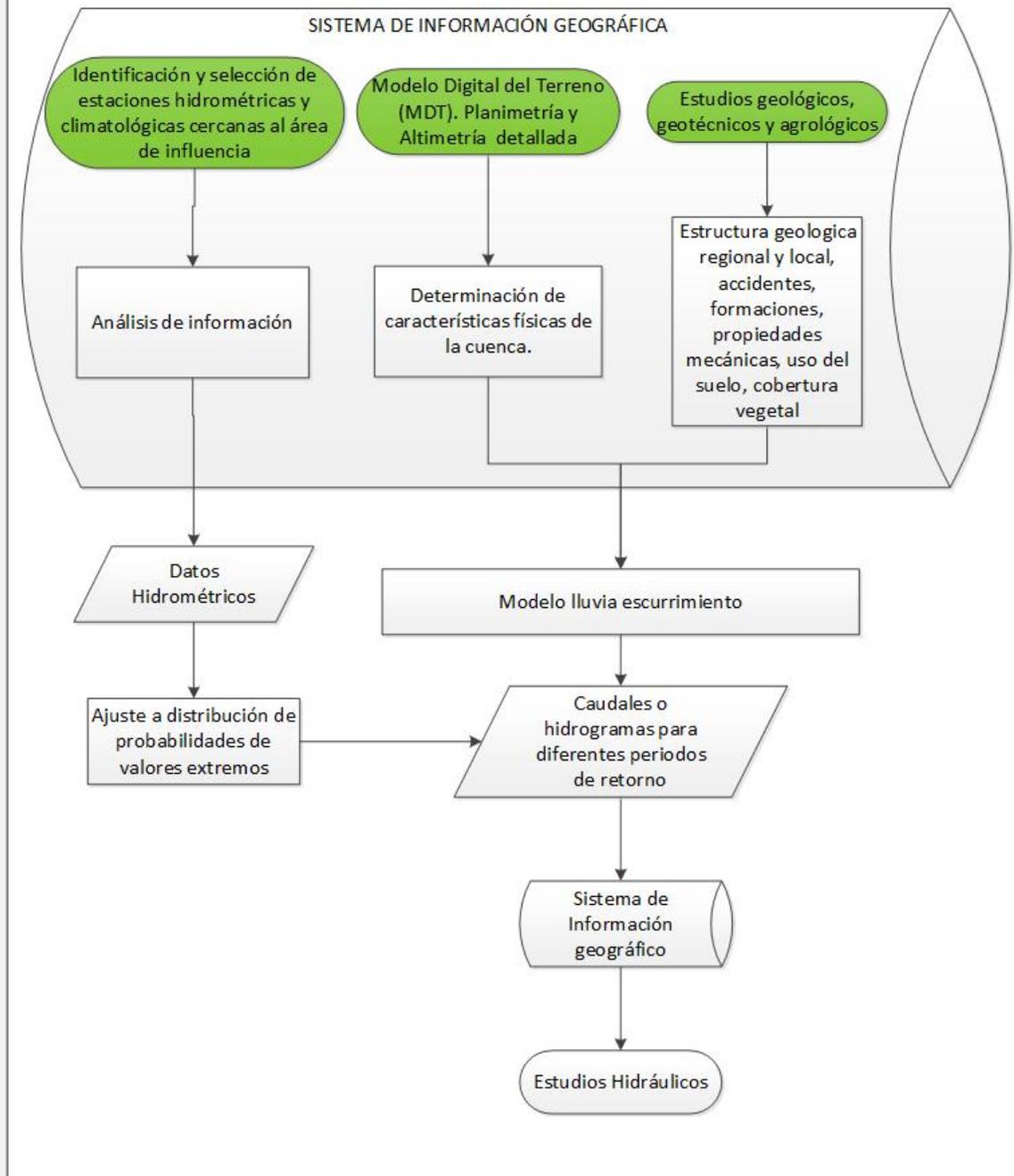
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EVALUACIÓN DE SECTORES RIBEREÑOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN.

DIAGRAMA FASE II - RECOPIACIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN



PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EVALUACIÓN DE SECTORES RIBEREÑOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN.

DIAGRAMA FASE II - RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
ESTUDIO HIDROLÓGICO



PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EVALUACIÓN DE SECTORES RIBEREÑOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN.

Diagrama FASE III - PLANTEAMIENTO ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

